

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřený tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Tepelná odolnost lepených spojů hlubokotažných plechů

Thermal resistance of bonded joints of deep drawing steel sheets

Michal Gritzer
KSP – TP– B53

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D – *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D – *TU Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	40
Počet tabulek	9
Počet příloh	5
Počet obrázků	23

Datum: 5. 6. 2009

A N O T A C E

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 - Strojírenství

Student Michal Gritzer

Téma práce: Teplotní odolnost lepených spojů
hlubokotažných plechů

Thermal resistance of bonded joints
of deep drawing steel sheets

Číslo BP: KSP – TP – B53

Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – *TU v Liberci*

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá problematikou teplotní odolnosti lepených spojů v automobilovém průmyslu. Použitá lepidla byla SikaPower 492G - LVP a Betamate 1496F na substrátu (EG+PH) hlubokotažného plechu.

Abstract:

Bachelor's thesis deals with the topic of thermal resistance of bonded joints in automotive industry. The adhesives used are SikaPower 492G - LVP and Betamate 1496F on substrat (EG+PH) of deep drawing sheet.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Ořechu, 5.6. 2009

.....

Michal Gritzer
Zahradní 186
252 25 Ořech

P o d ě k o v á n í

Chtěl bych poděkovat všem, kteří svou pomocí přispěli při vzniku této Bakalářské práce. Zejména Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. a Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. za odborné rady a připomínky. Dále bych pak chtěl poděkovat panu Ing. Karlu Formánkovi z firmy Sika CZ, s.r.o. a panu Ing. Milanu Blažkovi z firmy Dow Automotive za poskytnutí technických dokumentů k mému tématu.

Obsah

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1. Teorie lepení	10
2.1.1. Adheze a koheze	10
2.1.2. Molekulová, elektrostatická, chemická a difúzní teorie	11
2.2. Lepení v automobilovém průmyslu	12
2.3. Metodika zkoušení lepených spojů	16
2.4. Hodnocení porušení lepeného spoje	18
2.5. Vliv teploty prostředí na pevnost lepidel	19
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	24
3.1. Záměr experimentu	24
3.2. Materiály použité v experimentu	24
3.3. Postup experimentu	25
3.3.1. Stříhání, označení a odmaštění	25
3.3.2. Vytvoření lepeného spoje	26
3.3.3. Vytvrzování	26
3.3.4. Chladnutí	27
3.3.5. Vlastní měření	27
3.4. Norma zkoušky pevnosti ve smyku VW. PV 12.05	28
4. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	29
4.1. Výsledky a vyhodnocení měření - SikaPower 492G-LVP	30
4.2. Výsledky a vyhodnocení měření - Betamate 1496F	30
4.3. Výsledky měření a porovnání obou lepidel	31

4.4. Typy porušení - lepidlo SikaPower 492G-LVP	32
4.5. Typy porušení - lepidlo Betamate 1496F	34
5. DISKUZE	35
6. ZÁVĚR	37
7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	38
8. SEZNAM PŘÍLOH	40

Seznam použitých zkratk a symbolů:

AF	adhezní porušení	
CF	kohezní porušení	
ČSN	Česká státní norma	
d	průměr	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
EG+ PH	fosfátovaný, elektrolyticky pozinkovaný ocelový hlubokotažný plech	
F_{\max}	max. síla	[kN]
F_{23}, F_{13}, F_{12}	síla na rozhraní	[N]
G	modul pružnosti ve smyku	[Pa]
L	délka	[mm]
m	hmotnost	[g]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu v tahu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	plocha	[mm ²]
s	tloušťka substrátu	[mm]
SCF	speciální kohezní porušení	
T	teplota	[°C]
T_g	teplota skelného přechodu	[°C]
tzn.	to znamená	
α	úhel smáčivosti	[°]
γ	smyková deformace	[N.m]
$\gamma_{pruž}$	deformace pružiny	[N.m]
$\gamma_{píst}$	deformace pístu	[N.m]
τ	pevnost ve smyku	[MPa]
$\tau_{pruž}$	napětí na pružině	[MPa]
$\tau_{píst}$	napětí na pístu	[MPa]
η	dynamická viskozita	[Pa.s]

1. ÚVOD

Význam technologie lepení v současné době nabývá na významu téměř ve všech průmyslových oblastech. Mezi největší světové spotřebitele lepidel patří automobilový průmysl. Lepení v kombinaci s bodovým svařováním tvoří nosný prvek karoserie automobilu. Spojením výhod obou metod je v konstrukci karoserií, oproti starším metodám spojování, dosahováno lepších parametrů jako např. nižší hmotnosti konstrukce, vyšší tuhosti atd. Používáním technologie strukturního lepení je u automobilů dosahováno výrazného zvýšení pasivní bezpečnosti. Tato oblast je v současnosti velmi sledována včetně neustálého zlepšování metodiky zkoušení karoserií na náraz v různých modelových situacích. V tomto kontextu neustále se zvyšujících požadavků odolnosti proti nárazu, jsou technologie lepení spolu s použitím vysoce pevných ocelí, nezanedbatelnou konkurenční výhodou při stavbě karoserií vozidel.

S ohledem na charakter použití technologie lepení v rámci výroby karoserie osobních automobilů, je nutné zajistit, aby především, základní mechanické vlastnosti lepidel, resp. lepených spojů, zůstávaly stejné minimálně po dobu životnosti automobilu. Po celou tuto dobu je také nutné, aby lepené spoje zajišťovaly dostatečnou únosnost i během aktivního provozu automobilu a to ve všech provozních podmínkách.

Vzhledem k tomu, že většina používaných lepidel v automobilovém průmyslu je založena na bázi polymerních látek je zřejmé, že významný vliv na vlastnosti lepených spojů v karoserii, bude mít teplota, které je spoj během provozu vozidla vystaven. Teplotní rozmezí, ve kterém se může vozidlo vyskytovat, je od cca $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ v zimních obdobích až po krátkodobě zvýšené teploty kolem 60°C při slunečných dnech během letních měsíců. K tomu je nutné ještě připočítat vliv geografické polohy, ve které je vozidlo provozováno. S tím jsou spojené další vlivy jako např. vlhkost ovzduší, kontaminace solemi, prašnost apod. Veškeré tyto vlivy kladou požadavky na druh prováděných zkoušek tzn. od korozních až po nejvýznamnější zkoušky teplotní odolnosti lepených spojů. Metodika provádění jednotlivých zkoušek je určena příslušnou normou a to nám usnadňuje porovnávat jednotlivé výsledky mezi sebou.

Cílem bakalářské práce je popsat a zhodnotit vliv teploty prostředí na pevnost lepeného spoje pro vybrané typy pevnostních a aktuálně používaných lepidel při stavbě karoserií vozidel. Teplotní podmínky jsou s ohledem na možnosti a rozsah této práce voleny v rozmezí ($20\text{--}95^{\circ}\text{C}$). Jako základní hodnota teplotní odolnosti lepeného spoje je zvolena pevnost ve smyku u překlátovaných spojů.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Teorie lepení

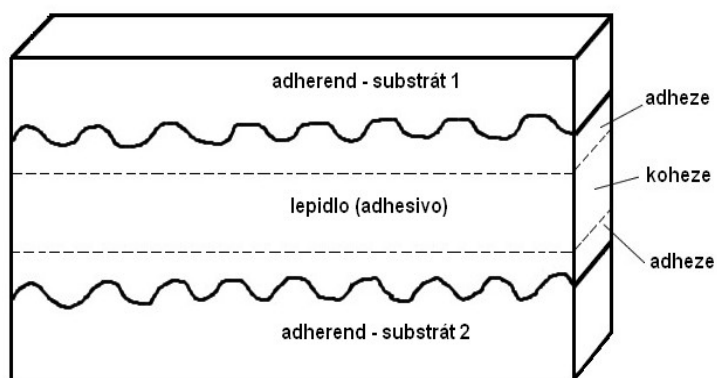
Teorie lepení vychází ze studia adheze na styku mezi organickou sloučeninou, lepidlem (resp. lakem) a kovovým povrchem. Adhezní vztahy mezi látkami byly jako jev studovány již v 18. století. Výzkum se ubíral dvěma směry. První směr vycházel z teorie a směřoval k vysvětlení mechanismu adheze. Směr druhý, se zabýval studiem lomové plochy po porušení a odhadem pevnosti původního spojení na daném rozhraní [1].

2.1.1. Adheze, koheze

Adheze je schopnost materiálů spolu přilnout. Přitahování dvou povrchů adhezními silami, souvisí s molekulovou strukturou lepidla. Adhezní vztahy mezi látkami jsou výsledkem působení fyzikálních, mezimolekulárních a chemických vazeb.

Koheze je stav látky, ve kterém pomocí mezimolekulárních a valenčních sil drží její částice pohromadě. Někdy je také nazývána vnitřní adhezí a je definována jako energie potřebná k oddělení jedné částičky od ostatních [2].

Při bližším zkoumání principu lepení se rozlišuje adheze mechanická a adheze specifická. Mechanická adheze vzniká při lepení takových látek, u nichž tekuté lepidlo proniká do pórů a drsnosti na povrchu. Po ztuhnutí si lepidlo vytvoří mechanické můstky, jimiž na povrchu zakotví a spojí obě lepené části. Mechanická adheze je hlavní složkou při lepení dřeva a podobných látek. Při lepení kovů má však nepatrný význam. Struktura lepeného spoje je zobrazena na obr. 2.1.

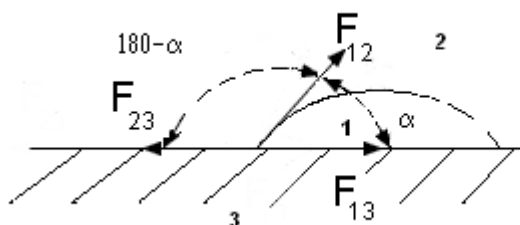


Obr. 2.1: Struktura lepeného spoje

Specifická adheze je způsobena mezimolekulárním napětím, které vzniká na hraniční ploše mezi lepidlem a kovem. Podmínkou pro přilnutí lepidla na kov je skutečný přímý styk povrchu kovu s lepidlem. Vyžaduje se, aby lepidlo plochu smáčelo. Smáčejí se ty

látky, u nichž rozdíl povrchového napětí proti vzduchu (F_{23}) a proti kapalině (F_{13}) je kladný. Rovnováha sil na okraji kapky kapaliny je zobrazena na obr. 2.2 [3]. Rozdíl sil $F_{23} - F_{13}$ se označuje jako tzv. adhezní konstanta. Je-li adhezní konstanta kladná a úhel α ostrý, tak kapalina povrch smáčí. Je-li adhezní konstanta záporná a úhel α tupý, pak kapalina povrch nesmáčí a snaží se shluknout do kuliček.

Klíčovým faktorem zajišťujícím optimální adhezi je tedy smáčivost. Tuto vlastnost se snažíme maximálně zvýšit vhodnou úpravou povrchů. Mezi základní úpravy povrchu před lepením patří fyzikální a chemické odmašťování v lázních. Používají se metody broušení, tryskání a kartáčování. Následná příprava lepidla závisí na druhu, jeho stavu po uskladnění, způsobu nanášení a vytvrzování.



Obr. 2.2: Smáčivost povrchu kovu kapalinou

F - síly na hraničních plochách prostředí

1- kapalina, 2- vzduch, 3- kov

2.1.2. Molekulová, elektrostatická, difúzní a chemická teorie

Princip adheze je *molekulovou teorií (adsorpční)* definován jako vzájemné působení dvou polárně funkčních skupin molekul adherendu a adheziva (lepidla). Proces vzniku vazby podle této teorie probíhá po přesunu molekul lepidla k povrchu adherendu a vzájemném působení mezimolekulárních sil (van der Waalsových) na vzdálenosti menší než 0,5 nm, do okamžiku dosažení adsorpční rovnováhy [4].

Základem pro vznik adheze podle *elektrostatické teorie* ve spoji je dvojitá dotykem vytvořená vrstva dvou různých substancí, jejichž rozdílně nabitě části se přitahují. Vzniklý potenciální rozdíl na nabitých deskách, takto vzniklého kondenzátoru zaniká vybitím nebo vyzářením, prostřednictvím elektronové emise po jejich vzájemném oddělení.

Mechanismus difúze není možné použít na výpočet pevnosti definovanou vzájemnou difúzí všech materiálů, a proto *teorie difúzní* nemůže vysvětlit obecně adhezivní jevy. Základem této teorie je skutečnost, že některé látky (polymery) mohou navzájem difundovat. Průběh této difúze, který závisí především na čase, teplotě, viskozitě, kompatibilitě adherendu a adheziva, relativní molekulové hmotnosti polymerů, pak následně ovlivňuje pevnost spoje. Tato teorie však nevysvětluje možnost spojení materiálů, které vzájemně nedifundují, ale přesto se úspěšně lepí (např. kov-sklo).

Podle *chemické teorie* vzniká pevný spoj dvou materiálů, vytvořením chemických (kovalentních) vazeb napříč rozhraním. Takovéto vazby sice někdy vznikají, ale obecně platí, že termodynamické podmínky neumožňují vznik chemických vazeb. I kdyby tyto podmínky nastaly, tak není možné jednoznačně tvrdit, že vazbové reakce budou probíhat výlučně na povrchu materiálů a nelze určit, jaký mají vliv na pevnost spoje.

2.2. Lepení v automobilovém průmyslu

Používání techniky lepení má ve stavbě automobilů již dlouhou tradici. Se zavedením přímého zasklení, (tím se rozumí vlepení všech nepohyblivých skleněných tabulí do přírub karoserie), začaly lepené spoje před více než 30. lety ovlivňovat bezpečnost vozidla. Postupně se začalo uvažovat o lepení jako o alternativním a spolehlivém způsobu spojování na karoseriích vozidel.

Lepení je důležitým doplňkem metod spojování, ale zatím není jejich výlučnou náhradou. Jako každá metoda má vedle předností i své nedostatky. Nejdůležitější výhodou lepených spojů je vyšší celková pevnost vhodně konstruovaného spoje ve srovnání s klasickými spoji. Při nýtování a šroubování se zmenšuje průřez spojovaných dílů a kromě toho dochází ke vzniku lokální koncentrace napětí. Při superpozici napětí při zatížení by pak mohlo dojít ke snížení bezpečnosti konstrukce. Životnost se u lepených montážních dílů testuje obvykle zkouškami provozní spolehlivosti s ohledem na vlivy prostředí.

Výhody lepení

- zamezení galvanické koroze
- vhodnost pro téměř veškeré materiály a kombinace materiálů
- nedochází k termickému ovlivnění materiálů
- tlumení vibrací
- absorpce olejů při vytvrzování za tepla
- vyztužení stavebních dílců na základě velkoplošného spojení
- utěšňující funkce

Nevýhody lepení :

- nerozebíratelný spoj
- při vyšších teplotách je omezená odolnost
- vyšší požadavky na vybavení podniku
- časově omezená životnost
- vyšší požadavky na rovnost povrchu
- nižší pevnost v odlupu
- spoj dosáhne konečné pevnosti až po určité době

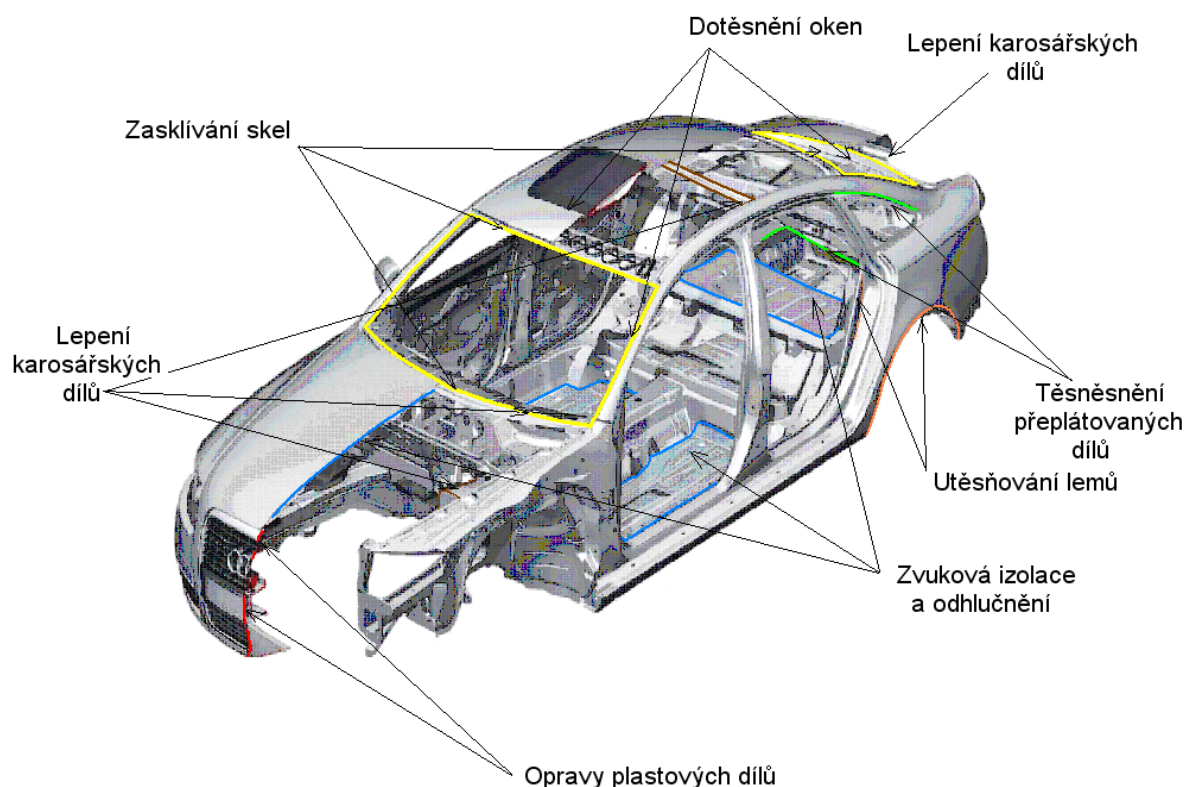
Několik nejvýznamnějších způsobů spojování včetně strukturního lepení, které je odolné vůči rázům, je porovnáno v tab. 2.1 [5]. Tabulka je sestavena na základě rozhodujících vlastností pro výrobní proces a také konečnou funkci. K obloukovému svařování, zde nebylo přihlíženo. Přestože má dobrou těsnost a vysoké hodnoty pevnosti a tuhosti, je vyloučeno z důvodu nízké rychlosti výrobního postupu. Ukazuje se, že strukturní lepení předstihuje ostatní způsoby téměř ve všech hodnotících kritériích. Jedinou výjimkou je chybějící počáteční pevnost, z čehož vyplývá účelnost kombinace s jiným způsobem spojování.

Tabulka 2.1: Vlastnosti spojení, +++ vynikající, ++ velmi dobrý, + dobrý, o střední, - špatný

Způsob spojení	Vyztužení karosérie	Pevnost v rázu	Provozní odolnost	Odolnost korozi	Rychlost výroby	Okamžitá pevnost
Strukturní lepení odolné proti rázům	+++	+++	+++	++	+++	-
Bodové svařování	o	o	o	-	-	+++
Clinchování (roztepávání)	o	-	+	o	-	+++
Nýtování	o	-	+	-	-	+++
Šroubování	o	o	o	-	-	+++
Svařování laserem	++	++	++	o	o	+++
Stehování laserem	o	o	o	-	++	+++

Karoserie moderních automobilů musí splňovat celou řadu požadavků, které jsou na ni kladeny jak z hlediska komfortu posádky, tak její bezpečnosti. Pro splnění těchto požadavků již dávno přestaly vyhovovat klasické metody spojování a bylo nutné tyto metody doplnit o technologii lepení. Lepený spoj v současnosti mimo odolnosti proti porušení při tzv. crash-testu si musí zachovávat i své vlastnosti v celém rozsahu provozních teplot po dobu celkové životnosti. Lepení se dále využívá v oblasti karoserie pro snížení vnitřní hladiny zvuku karoserie a tím zvýšení komfortu posádky. Dále se používá k utěsnění svarových spojů a tím zamezení vzniku koroze.

S příchodem strukturního lepení schopného odolat crash-testu bylo nutné vyvinout lepidla s vyšší pevností a odolností proti rázu. V poslední době se počet lepených spojů na automobilových karoseriích výrazně zvýšil. Předpokládá se, že tento trend bude nadále pokračovat. Veškeré díly procházejí náročnými testy a kontrolou. Na obr. 2.3 [6] jsou zobrazeny části karoserie, které se spojují lepením. V tabulce 2.2 jsou uvedeny části karoserií a používaná lepidla [7].



Obr. 2.3: Příklady aplikace lepení na karoserii

Tabulka 2.2: Báze lepidel, charakter lepeného spoje, aplikace

druh lepeného spoje	příklady	používaná lepidla	požadované vlastnosti
drážkové lepení	kapota	epoxidové pryskyřice	pevnost, tuhost,
výztuhové lepení	dveře, kapota	polyuretany	neohebnost
lepení nosné struktury	sloupky, profily	epoxidové	pevnost,
těsné lepení	hrdlo nádrže	PVC	těsnost
přímé zasklívání	boční tabule	polyuretany	tuhost karoserie

Vedle naléhavého požadavku na použitelnost při nárazech musí být u strukturního pevnostního lepení přihlédnuto k tomu, že se u reaktivních (to znamená chemicky vytvrzovaných) lepidel jedná v okamžiku jejich nanášení na spojované části o materiál velmi měkký. Tato relativně nízko-viskózní (tekoucí) lepidla nemají bezprostředně po spojení žádnou počáteční pevnost, která je pro bezprostřední pokračování montáže potřebná. Mechanické fixování (svěrkami) spojených dílů zde nepřichází z výrobních a nákladových důvodů v úvahu. Lepicí fólie, které jsou ve stavbě letadel často využívány, nepřicházejí pro mnohotvárnost dílů karosérie v úvahu jako vhodné řešení. Východisko z tohoto problému spočívá v kombinaci strukturního lepení s jinými termickými nebo mechanickými způsoby spojování. Tak se na automobilu v kombinaci s bodovým svařováním lepí např. podběhy, klobouky tlumičů a další nosné části karosérie. Tento druh spojení se nazývá hybridní lepení. V oblasti automobilové výroby se používají následné termické a mechanické způsoby spojování:

- **bodové svařování**
- **obloukové svařování**
- **svařování laserem**
- **letování**
- **nýtování**
- **spojování nýtováním/roztepáním**
- **šroubové spojení**

Celková délka všech spojů vytvořených těmito metodami, se pohybuje od 35 do 80 metrů v závislosti na druhu a velikosti vozidla. Výběr způsobu spojení se v praxi řídí podle kritérií, která ovlivňují podobu hotové karosérie a výrobního procesu. Na jedné karosérii zpravidla bývá uplatněno více druhů způsobů těchto spojování. Výběr technologie se řídí podle těchto kritérií v různém pořadí. Mezi tato kritéria patří [5]:

- **tuhost karosérie**
- **stabilita vůči nárazu**
- **antikorozi ochrana**
- **provozní pevnost/odolnost**
- **akustika**
- **vhodnost pro kombinaci materiálů**
- **rychlost procesu**
- **investiční a provozní náklady.**

Při kombinaci lepení s mechanickým nebo termickým způsobem spojování se dosáhne vysoké účinnosti spojení. Žádná jiná technika spojování se nejeví tak multifunkční. Možnosti kombinování různých způsobů spojování s lepením jsou znázorněny v tab. 2.3. Způsoby, které působí vysokými teplotami na velké oblasti lepidla, jako například obloukové svařování, nejsou vhodné, protože zde dochází k termickému rozrušení lepidla nebo jeho degradaci.

Tabulka 2.3: Možnosti kombinování s technikou lepení

Způsob spojování	Možnost kombinování s technikou lepení
Bodové svařování	ano
Svařování MIG, MAG, WIG	ne
Svařování nosníků	ano
Svařování laserem (linie)	ne
Svařování laserem (stehování)	ano
Drážkování	ano
Clinchování (spojování prosazováním)	ano
Nýťování naslepo	ano
Samostatné nýťování lisováním	ano
šroubové spojení	ano

Při hybridním lepení je možné tolerovat rozrušení lepidla v bezprostředním okolí svarových bodů. Rozestupy svarových bodů jsou dostatečně veliké, aby lepidlo zůstalo ve velkých rozsazích nepoškozené, takže velké výhody plošného lepeného spojení zůstávají zachovány [5]. Technologie lepení se přidává k bodovému svařování, v případě, že bodové svařování nepostačuje pro splnění crash-testu.

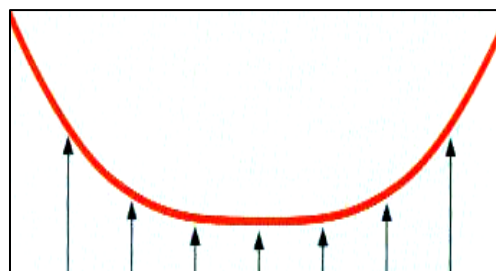
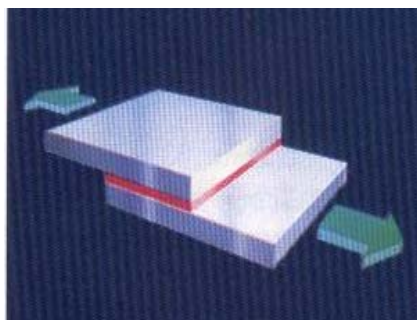
2.3. Metodika zkoušení lepených spojů

Zkoušky lepených spojů slouží k modelování jejich chování během reálného provozu. Lepené spoje lze testovat při statickém nebo dynamickém zatížení. Při statickém zatížení lze hodnotit pevnost ve smyku nebo v odlupu lepeného spoje.

Zkouška smykové pevnosti dle normy VW. PV 12.05

Zkouška smykové pevnosti podle normy VW. PV 12.05 [8] a rozložení tlaku při zkoušce je znázorněno na obrázku č. 2.4. Jedná se o podnikovou normu firmy VW. Rozměry zkušebních vzorků závisí na druhu materiálu. Při zatěžování lepeného zkušebního vzorku dojde ve spoji k průhybu. Rozdílně se deformuje lepidlo a jiné části

přeplátovaného spoje. Jmenovité napětí tak neodpovídá napětí v lepidle. Mezi výhody této zkoušky patří jednoduchost, nízká cena a možnost použití na běžném stroji pro zkoušku tahem. Vzorek se vyrobí ze dvou plechů s rozměry 150 x 20 mm s délkou přeplátování 10 mm. V místě spoje se distančními drátky o průměru 0,2 mm, zajistí konstantní tloušťka vrstvy lepidla. Tato zkouška probíhá za teploty 23 °C, po níž následuje vyhodnocení typu porušení a pevnosti ve smyku.

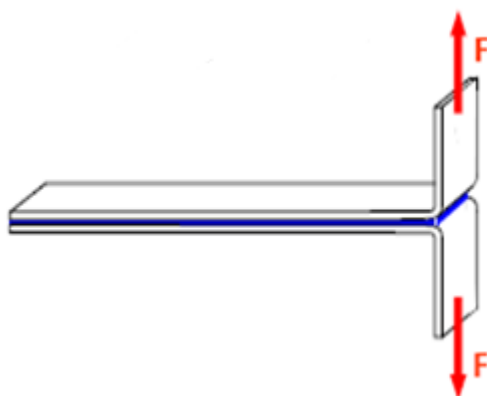


Obr. 2.4: Zkouška smykové pevnosti a rozložení tlaku

Zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů

ČSN EN ISO 14173

Tato zkouška hodnotí pevnost lepeného spoje v odlupu při statickém zatížení. Zkušební vzorek se skládá ze dvou přeplátovaných slepených plechu, které jsou zalomeny pod úhlem 90°. Po zatížení statickým tahem dojde k odlupu. Na obr. 2.5 je znázorněna schematicky zkouška v odlupu ČSN EN 14173 [9].



Obr. 2.5: Zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů ČSN EN ISO 14173

Zkušební metoda pro hodnocení rázové pevnosti lepených spojů ve smyku - ČSN EN ISO 9653

Při této zkoušce se namáhá zkušební spoj vzorku ve smyku rázovým tlakem. Namáhání směřuje ve směru podélné osy. Vzorek je zatěžován až do okamžiku jeho porušení. Jednotky rázové pevnosti jsou J.cm^{-1} [6].

Pevnost ve smyku při dlouhodobém staticky působícím zatížení

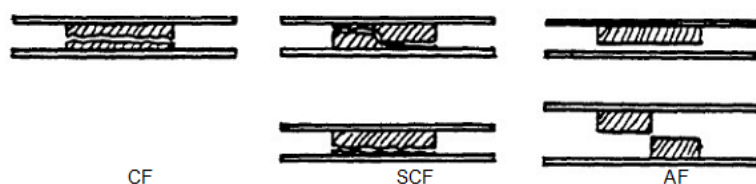
Při této creepové zkoušce se měří délka vzájemného posunutí obou polovin lepeného vzorku za současného zjištění meze tečení. Zkušební vzorek je totožný s normou VW. PV 12.05. Po experimentu se vyhodnotí maximální napětí ve smyku, při kterém se žádný vzorek ze série pěti kusů neporuší během stanovené doby např. 200, 1 000 nebo 10 000 hodin.

Zkušební metody na únavu konstrukčních lepidel zatěžovaných ve smyku dle ČSN EN ISO 9664

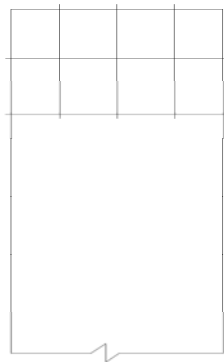
Únavová pevnost ve smyku tahem při míjivém cyklickém zatěžování je hodnota maximálního smykového napětí, při kterém se žádný ze série pěti kusů zkušebních vzorků neporuší po $2 \cdot 10^7$ cyklech. Zkušební vzorek je podobný s normou VW. PV 12.05 jen přelátování je 10 mm a tloušťka vzorku je 2mm. Použitý kmitočet je 43,3 Hz.

2.4. Hodnocení porušení lepeného spoje

Typy porušení popisuje norma ČSN ISO 10365 [10]. Rozlišuje porušení na speciální kohezní porušení (SCF), kohezní porušení (CF) a adhezní porušení (AF). Při adhezním porušení dojde k porušení na rozhraní adhezend-lepidlo. Při porušení kohezním dojde k trhlině v lepidle. Vyhodnocování probíhá pozorováním bez zvětšovacích pomůcek. Základní typy porušení jsou zobrazeny na obr. 2.6. Norma nepředepisuje lepidla ani substráty, lze ji použít univerzálně.



Obr. 2.6: Typy porušení lepených spojů [10]



Obr. 2.7: Rozdělení porušené plochy rastrem

Vyhodnocení zastoupení jednotlivých typů porušení lepeného vzorku se provedlo pomocí rastru obr. 2.7. Ve všech jeho osmi částech se určily velikosti jednotlivých typů porušení. Výsledné hodnoty procentuelního podílu jednotlivých typů porušení na zkušebním vzorku jsou průměry z jednotlivých dílčích hodnot v těchto částech.

2.5. Vliv teploty prostředí na pevnost lepidel

Na pevnost lepeného spoje má často nejvýznamnější vliv lepidlo. Chování lepidel při zatížení lze popsat mnoha modely. Jedním z nich je Kelvinův visko-elastický model [11]. Na obr. 2.7 je zobrazen model, který se skládá z pružiny a z pístu. Pružina znázorňuje hookovskou látku. Píst je symbolem newtonské látky. Model představuje paralelní spojení newtonské látky a hookovské látky. Deformace pružiny je zde zpožděována viskózní částí. Tento model nevykazuje ani okamžitou deformaci ani neomezené tečení. Elasticita modelu je časově závislá. Deformace pružiny se řídí rovnicí (2.1). Pohyb pístu je popsán rovnicí (2.2). Vratná deformace γ je v obou částech modelu stejná (2.3). Napětí na pružině a pístu τ se sčítají u obou částí modelu (2.4).

Pružina - hookovská látka:

$$\gamma_{pruž} = \frac{\tau_{pruž}}{G} \quad (2.1)$$

τ - smykové napětí [MPa]

G - modul pružnosti ve smyku [Pa]

γ - smyková deformace [MPa]

Píst - newtonská látka:

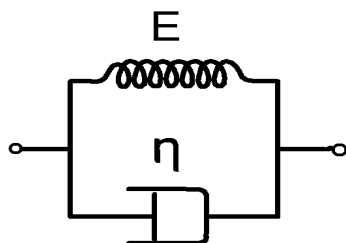
$$\gamma_{pist} = \frac{\tau_{pist}}{\eta} \quad (2.2)$$

η - dynamická viskozita [Pa.s]

γ -smyková deformace [s^{-1}]

$$\gamma_{pruž} = \gamma_{pist} = \gamma \quad (2.3)$$

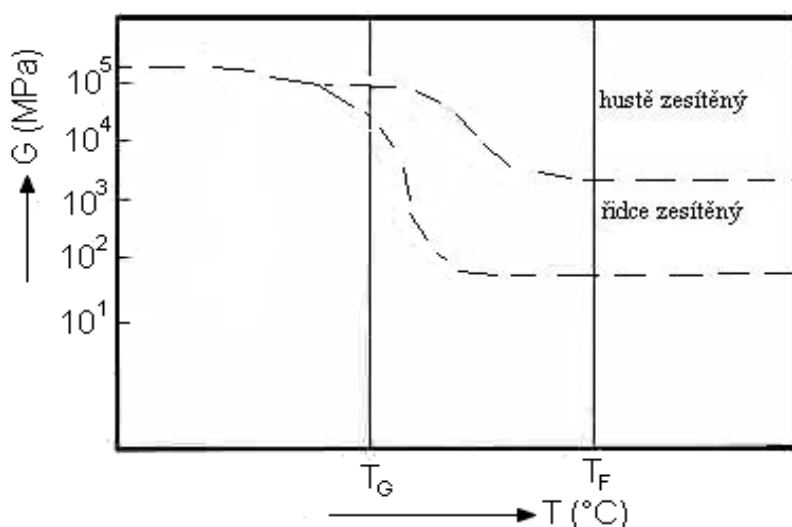
$$\tau_{pruž} + \tau_{pist} = \tau \quad (2.4)$$



Obr. 2.7: Kelvinův model

Vlastnosti polymeru se mění s teplotou. Zvláštní význam má teplota skelného přechodu (T_g), která se rovněž označuje jako teplota zesklnění. Na obrázku 2.8 [12] je zobrazeno, jak amorfnní polymer mění v určitém teplotním intervalu své fyzikální vlastnosti. Lineární amorfnní polymer je pod teplotou skelného přechodu tvrdý, a má vysoký modul pružnosti. Zamrzává „mikrobrownský“ pohyb. Polymer se chová jako sklo. Při překročení teploty skelného přechodu klesne modul pružnosti u semikrystalických polymerů v některých případech i o několik řádových hodnot. Chování se pak stává spíše elastické. Dodáním tepelné energie se usnadňují přeskoky pohyblivých segmentů jednotlivých molekul do nových poloh. To je umožněno přítomností děr o submolekulární velikosti (tzv. vakantních míst) v amorfnní fázi. Při T_g , která je charakteristická pro danou strukturu konstituční jednotky, se zvyšuje frekvence přeskoků exponenciálně. Pokud je polymer amorfnní, dojde při teplotě T_g jen k malému poklesu modulu pružnosti. Nad teplotou skelného přechodu je produkt pružný jen částečně. Mechanické vlastnosti se změni jen nepatrně. Hodnota T_g bezprostředně

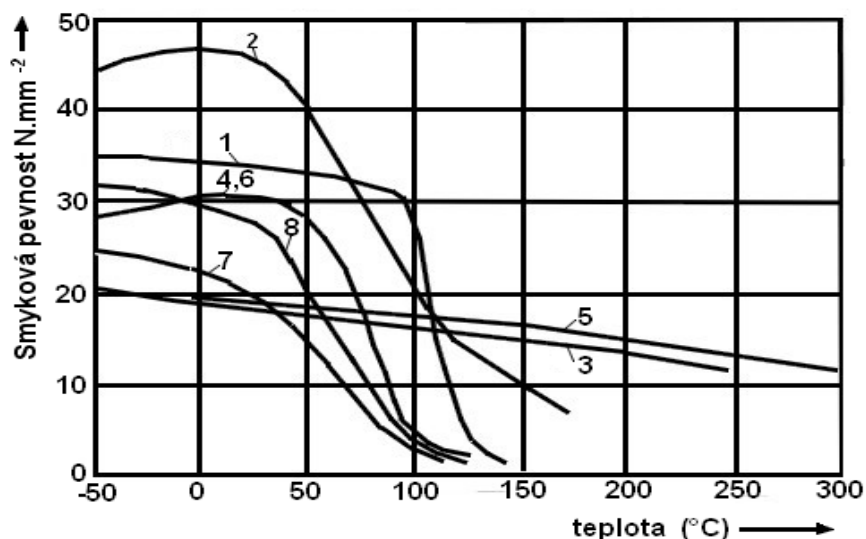
souvisí se strukturou konstituční jednotky polymerů. Čím je struktura komplikovanější a tuhost makromolekul větší, tím je nesnadnější pohyblivost molekulárních segmentů a T_g se zvyšuje [13]. Protože je T_g z fyzikálního hlediska mezní hranicí pro konstrukční použití amorfních plastů, je snaha syntetizovat polymery s vysokou teplotou T_g . Se vzrůstající T_g a tuhostí makromolekul, se ovšem zhoršuje zpracovatelnost lineárních amorfních plastů polymerů kvůli značně vysoké viskozitě taveniny. Proto se některé polymery s vyšší teplotou T_g mísí s vhodným polymerem o nižší teplotě T_g .



Obr. 2.8: Vliv teploty na modul pružnosti ve smyku

Přehled všeobecného teplotního chování strukturních lepidel je zobrazen na obr. 2.9 [14]. Hodnoty pevnosti závisí na napětových podmínkách, které převládají v lepidle. Tyto podmínky závisí na schopnosti plastické deformace lepidla. U lepidel, která mají vysokou teplotní odolnost, jsou možnosti plastifikace omezené. Proto byly při tomto tahovém testu obdrženy nízké hodnoty pevnosti.

Jak ukazuje obr. 2.9 maximum pevnosti při testu nastalo v teplotním rozsahu 0 až 100 °C u všech zkoumaných lepidel. Potom následoval pokles, při němž oba jevy byly zaznamenány v mezích rozsahu teploty skelného přechodu lepidel.



Obr. 2.9: Závislost smykové pevnosti na teplotě

1-epoxid, 2-epoxid-nylon, 3-fenol, 4-fenol-polyvinyl, 5-polymid, 6-epoxid-polyaminoamid,
7-epoxid- polyaminoamid, 8-metakrylat

Ve srovnání s kovy nebo jinými látkami se některé polymery vyznačují větší odolností proti stárnutí. V praxi se proto často využívají jako jejich ochrana. Pro toto znehodnocení se nepoužívá termín koroze jako u kovů, ale označuje se jako degradace. Dochází k ní vlivem vnějších podmínek. Jednou z nich může být i zvýšená teplota okolí. Například samotný epoxid degraduje při teplotě 176°C [15]. Lepidla mají různá chemická složení, a proto vliv degradace na mechanické vlastnosti lepidel bude jiný. Znehodnocení polymerů degradací při vyšší teplotě, je založeno na difúzi. Při tomto tepelně aktivovaném ději látka postupuje z jedné fáze do jiné ve směru nižší koncentrace a tlaku [16]. Lepené spoje tak částečně nevratně ztratí svou smykovou pevnost. Pod tímto termínem se rozumí nevratná změna chemického složení a vlastností. Dochází při ní ke změně molekulárních řetězců, porušování vazeb mezi atomy a vzniku reakcí. V provozu se tak nejčastěji stane vlivem mechanického nebo tepelného namáhání, ke kterému může dojít i při procesu vytvrzování.

Stručné rozdělení lepidel pro ocel a jejich základní vlastnosti jsou popsány v tab. 2.10 [1]. Je zde uvedena trvanlivost ocelových spojů. Každé z lepidel má svoji maximální provozní teplotu. Vytvrzování probíhá při předepsané teplotě po určité době. Teplota ani doba nesmí být při vytvrzování překročeny. Dále je zde uvedeno, jak jsou lepidla odolná proti zkouškám v odlupu a smyku.

Tabulka 2.10: Rozdělení lepidel

Základní pryskyřice	Podmínky vytvrzování			Pevnost		Max. provoz teplota (°C)	Trvanlivost ocelových spojů
	Teplota (°C)	Tlak (N/mm ²)	Doba (min)	smyk	odlup		
2-složkové epoxid	20	0	60-480	vysoká	nízká – střední	60-80	nízká – střední
2-složkové polyuretan	20	0	10-200	vysoká	vysoká	60-80	nízká
1-složkové epoxid	120	0	30-60	vysoká	vysoká	150-200	vysoká
1-složkové fenol.	150	5-8	30-60	vysoká	nízká	100	vysoká
1-složkové polyimid	180	5-8	60	vysoká	nízká	300	vysoká
1-složkové kyanoakrylát	20	0	1-10	střední	nízká	80-100	nízká
1-složkové diakrylacid ester	20	0	0.1-10	střední	nízká – střední	80-120	střední
2-složkové akrylové (2. generace)	20	0	5-60	vysoká	střední – vysoká	80	vysoká

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

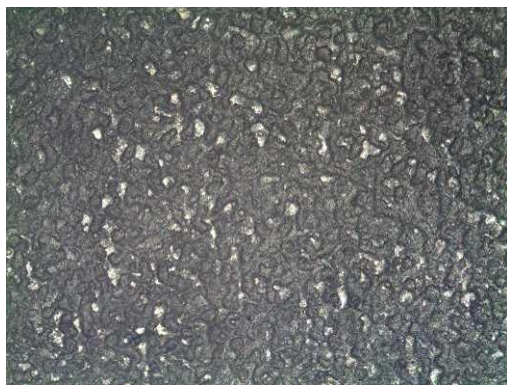
3.1. Záměr experimentu

Prováděný experiment se snaží co nejvíce přiblížit provozním podmínkám, během kterých může být lepený spoj vystaven různým teplotám. Konkrétně se zabývá vlivem teploty na pevnost lepeného spoje a na typ dosaženého porušení v intervalu od (20-95 °C). Pro zkoušku byla vybrána lepidla SikaPower 492G-LVP a Betamate 1496F. Zkušební vzorek byl vyroben dle požadavků normy pro zkoušku VW. PV 12.05 s lepidly SikaPower 492G-LVP a Betamate 1496F. U lepidel, která se liší svým chemickým složením, se předpokládají odlišné mechanické vlastnosti při různých teplotách. V experimentu je hodnocena závislost pevnosti ve smyku přepřátovaných spojů na teplotě v daném intervalu hodnot. Konkrétně byly provedeny zkoušky smykové pevnosti dle normy VW. PV 12.05 při teplotních zatíženích 20 °C, 35 °C, 50 °C, 65 °C, 80 °C, 95 °C. Vyhodnocuje se pevnost ve smyku a typ porušení pro jednotlivé teplotní podmínky a lepidla. Ze získaných výsledků je sestavena závislost meze pevnosti lepených spojů ve smyku na teplotě.

3.2. Materiály použité v experimentu

- Substrát

Při experimentu byl použit hlubokotažný plech používaný pro stavbu karoserie s povrchovou úpravou EG+PH, tzn. elektrolyticky pozinkovaný a fosfátovaný plech. Tloušťka plechu byla $s = 0,72$ mm. Základní mechanické vlastnosti podle údajů výrobce jsou: $R_{p0,2} = 167$ MPa a $R_m = 291$ MPa. Povrch substrátu je znázorněn na obr. 3.1. Snímek je pořízen na mikroskopu Leova DM 2500.



Obr. 3.1: Substrát EG+PH, zvětšeno 4x

- Mazivo

Před experimentem se nanese na substrát (EG+PH) olej Anticorit PL 3802-39 S ve vrstvě (3g/m^2). Tento olej má ochranné antikoroziční a protizáděrové účinky, proto se používá jako tvářecí mazivo v lisovnách. Technický list oleje je uveden v příloze č. 3.

- Lepidla

SikaPower 492G-LVP je jednosložkové, teplem vytvrditelné lepidlo. Základní složkou tohoto lepidla je epoxid, který dále doplněn polyuretanovou složkou. Teplota skelného přechodu T_g je 105° . Lepený spoj nesmí být vystaven vyšší teplotě než 220°C . Viskozita při 50°C je 1000 Pa.s . Výrobce lepidla SikaPower 492G-LVP udává hodnotu pevnosti ve smyku spoje 22 MPa při teplotě 15°C . Technický list lepidla SikaPower 492G-LVP je uveden v příloze č. 1.

Betamate 1496F je epoxidové, jednosložkové, teplem vytvrditelné lepidlo. Viskozita lepidla Betamate 1496F při teplotě 45°C je 160 Pa.s . Pevnost ve smyku je 24 MPa při teplotě 20°C . Modul pružnosti je 1300 MPa . Lepidlo má velmi dobrou chemickou odolnost. Veškeré další údaje jsou uvedeny v technickém listu lepidla Betamate 1496F, který je v příloze č. 2.

3.3. Postup experimentu

3.3.1. Stříhání, označení a odmaštění

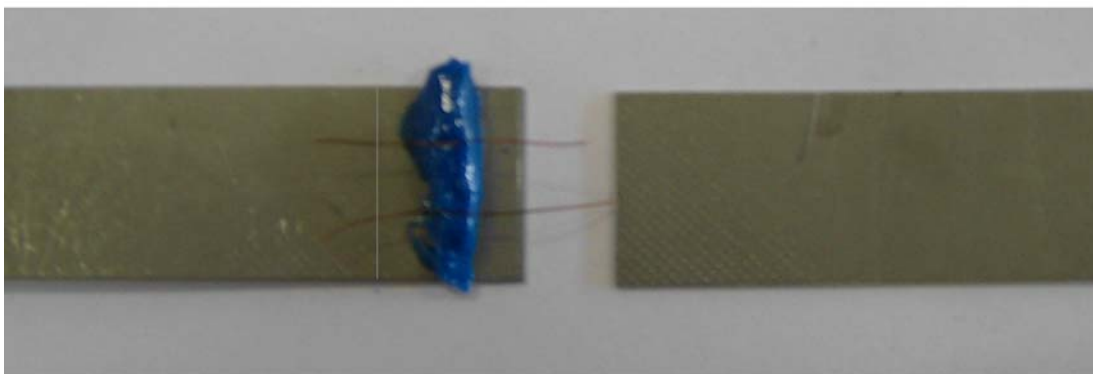
Na tabulových nůžkách byly nastříhány vzorky dle normy zkoušky VW. PV 12.05 s těmito rozměry: délka 150 mm , šířka 20 mm . Fotografie tabulových nůžek je na obr. 3.2. Vzorky byly očištěny, odmaštěny v průmyslovém odmašťovači D-Sol Extra a označeny příčnou ryskou pro vymezení plochy a nanese lepidla. Vzorky byly rozděleny do skupin pro jednotlivá lepidla a různé teploty. Pro každou teplotní hodnotu se vyčlenilo 5 vzorků. Obě použítá lepidla byla testována při šesti teplotních podmínkách. Celkem tedy bylo připraveno 60 vzorků pro obě lepidla.



Obr. 3.2: Tabulové nůžky

3.3.2. Vytvoření lepeného spoje

Lepidlo bylo nanášeno ve tvaru “housesky” na vymezenou plochu definovanou krajem plechu a příčnou ryskou. Pro zajištění konstantní tloušťky lepidla se na vzorky umístily distanční drátky. Pro zafixování lepeného spoje byly použity svorky. Vzorky před vlastním procesem vytvrzování byly hodinu kondicionovány při teplotě okolí. Stav před vytvořením spoje je zobrazen na obr. 3.3.



Obr. 3.3: Stav vzorku před vytvořením spoje

3.3.3. Vytvrzování

Vytvrzení vzorků proběhlo v sušárně Venticell 222. Před vložením vzorků byla sušárna temperována na teplotu $183 \pm 3^\circ\text{C}$. Po dosažení této teploty se do sušárny umístily vzorky na 20 minut. Tento výrobek firmy BMT je umístěn v laboratoři na katedře strojírenské technologie. Fotografie sušárny je na obr. 3.4.



Obr. 3.4: Sušárna Venticell 222

3.3.4. Chladnutí

Po procesu vytvrzení byly vzorky vyjmuty ze sušárny. Následně se nechaly po dobu 24 hodin adaptovat na teplotu okolí. Za tuto dobu „přesušená“ lepidla absorbovala určité množství vlhkosti z okolního prostředí. Následovalo sejmutí svorek a takto připravené vzorky byly podrobeny vlastnímu měření.

3.3.5. Vlastní měření

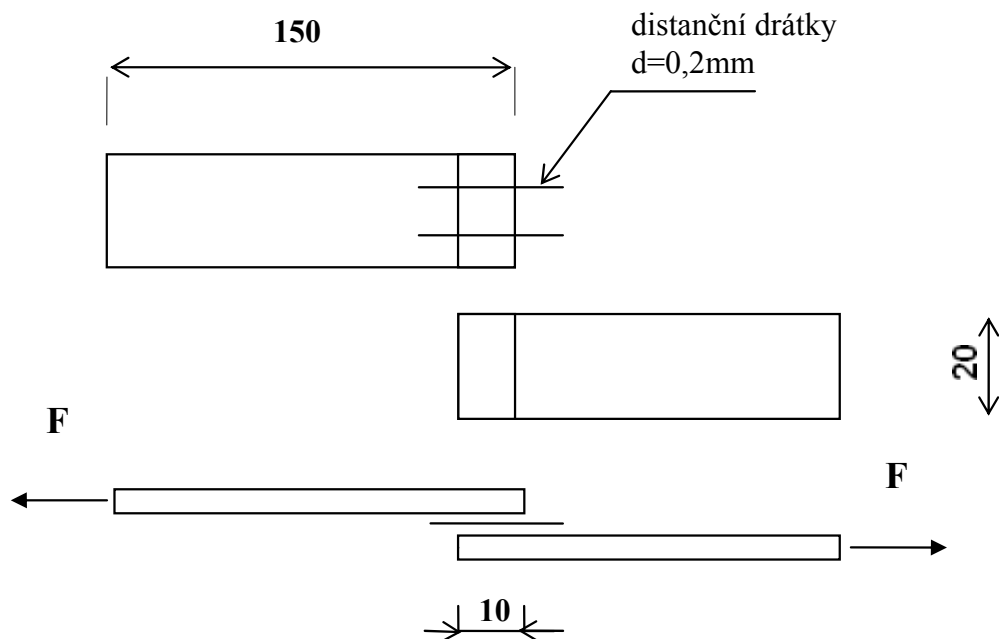
Zkouška byla provedena na trhačím stroji TIRA test 2300. Použitá tenzometrická měřicí hlava měla rozsah 0 – 10 kN. Pro teplotní zátěž posloužila teplotní komora s rozsahem teplot (-70 až + 270) °C. Vyhodnocení zkoušek bylo provedeno pomocí software Labnet v.4. Zaznamenáván byl průběh zatěžující síly a vyhodnocováno maximální zatížení při přetržení. Fotografie trhačího stroje je na obr. 3.5. Naměřené hodnoty a vlastní výstupy z tohoto zařízení jsou uvedeny v přílohách P. 4.1 až P. 4.12.



Obr. 3.5: Trhací stroj TIRA test 2300

3.4. Norma zkoušky pevnosti ve smyku VW. PV 12.05

Na obr. 3.6 je zobrazeno schéma zkušebního vzorku včetně rozměrů dle normy zkoušky VW. PV 12.05 [5]. Délka přepletování spoje byla pro obě lepidla 10 mm. Tloušťka lepidla ve spoji byla 0,2 mm a k zajištění této tloušťky jsou použity distanční drátky o stejném průměru. Šířka plechu byla 20 mm a jeho délka 150 mm. Po provedení zkoušky se pevnost ve smyku vypočítá dle vztahu (3.1).



Obr. 3.6: Zkouška smykové pevnosti dle VW. PV 12.05

Smyková pevnost:

$$\tau = \frac{F_{\max}}{S} \quad (3.1)$$

τ - smyková pevnost (MPa)

F_{\max} - síla před porušením (N)

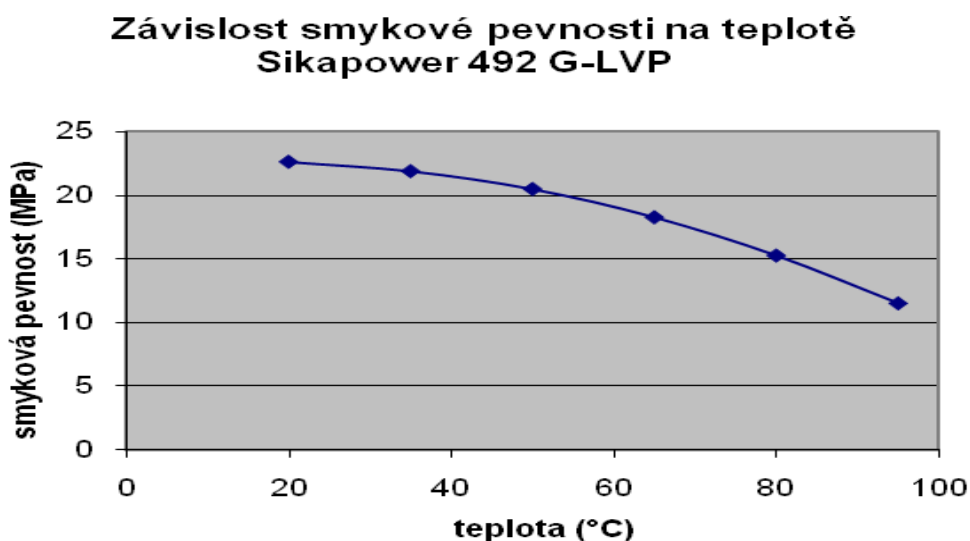
S - plocha (mm²)

4. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Cílem experimentu bylo zjistit závislost smykové pevnosti na teplotě lepeného spoje při zkoušce tahem v rozmezí teplot (20-95°C). Vyrobyly se dvě skupiny po třiceti vzorcích pro lepidla SikaPower 492G-LVP a Betamate 1496F. Měření se provádělo na zařízení TIRA test 2300 pro zkoušení materiálů na pevnost v tahu.

4.1. Výsledky a vyhodnocení měření - SikaPower 492G-LVP

Pro každé měření dané teploty bylo použito 5 ks vzorků. Z naměřených hodnot pro každou teplotu byla stanovena střední průměrná hodnota a směrodatná odchylka viz. P. 5.1 až P. 5.6. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.1. První měření proběhlo při teplotě 20 °C a byla při něm naměřena hodnota 22,58±0,62 MPa. Při dalších měřeních se teplota postupně zvyšovala o 15 °C. Následná měření tedy proběhla za teplot 35 °C, 50 °C, 65 °C, 80 °C, 95 °C. Grafické znázornění výsledků je uvedeno na obr. 4.1.



Obr. 4.1: Graf smykové pevnosti (MPa), teplota °C, lepidlo SikaPower 492G-LVP

Tabulka 4.1: Výsledky měření, pevnost (MPa), teplota °C

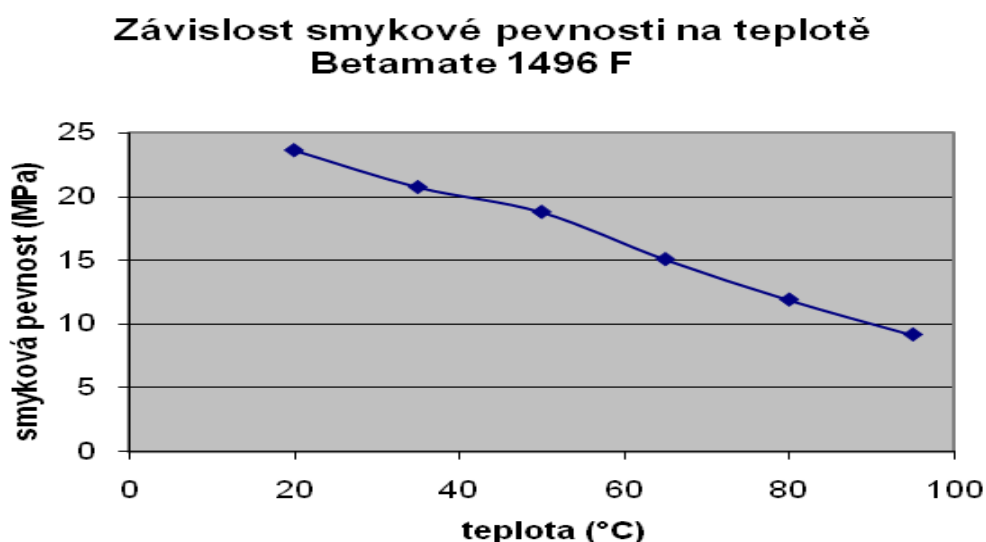
Teplota [°C]	20	35	50	65	80	95
SP 492G-LVP	22,58±0,62	21,85±0,81	20,45±0,86	18,24±0,57	15,24±0,83	11,50±0,57

Se zvyšující se teplotou docházelo u lepených spojů s lepidlem SikaPower 492G-LVP postupně k poklesu hodnot smykové pevnosti. Za teploty 50 °C byla naměřena hodnota 20,45±0,86 MPa a za nejvyšší teploty 95 °C hodnota 11,50±0,57 MPa. Pevnost spoje celkově klesla při teplotě 95 °C, přibližně o 45 % oproti prvnímu měření při 20 °C.

4.2. Výsledky a vyhodnocení měření-lepidlo Betamate 1496F

První měření proběhlo při teplotě 20 °C, byla při něm naměřena hodnota 23,60±0,46 MPa. Měření probíhalo při stejných teplotních podmínkách jako pro lepidlo SikaPower 492G-LVP. Z naměřených hodnot pro každou teplotu byla stanovena střední průměrná

hodnota a směrodatná odchylka viz. P. 5.7 až P. 5.12. Při těchto dalších měřeních zobrazených v grafu na obr. 4.2, docházelo stejně jako v případě lepidla SikaPower 492G-LVP se zvyšující se teplotou k poklesu hodnot smykové pevnosti. Za teploty 50 °C byla naměřena hodnota $18,76 \pm 0,63$ MPa a při nejvyšší teplotě 95 °C hodnota $9,14 \pm 0,39$ MPa. Výsledky měření jsou uvedeny v tab. 4.2. Pevnost spoje celkově klesla při 95 °C, přibližně o 60 % oproti prvnímu měření.



Obr.4.2: Graf smykové pevnosti (MPa), teplota °C, lepidlo Betamate 1496 F

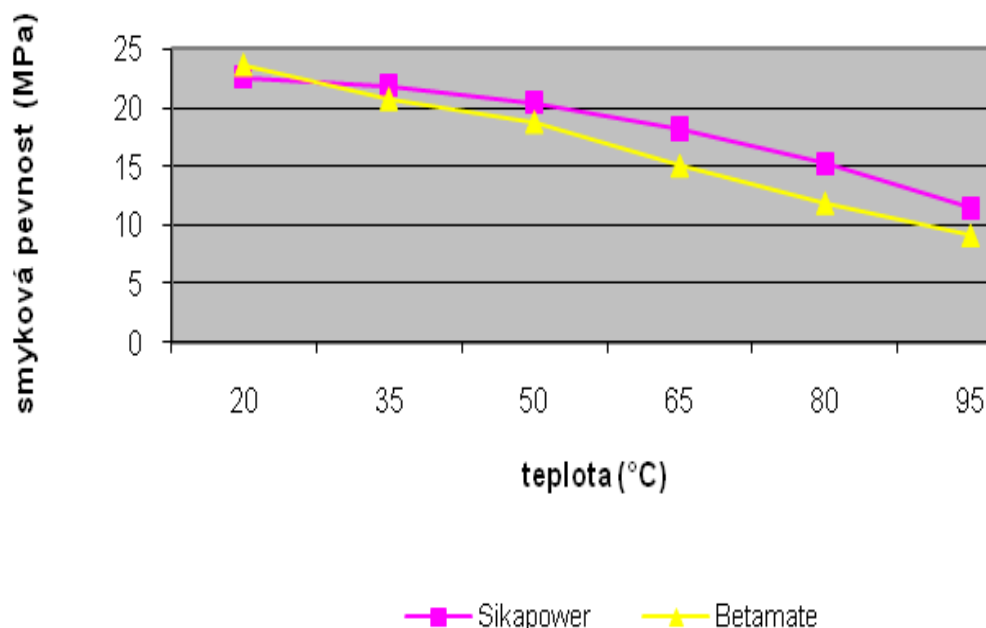
Tabulka 4.2: Výsledky měření, pevnost (MPa), teplota °C

Teplota [°C]	20	35	50	65	80	95
Betamate 1496F	23,60±0,46	20,71±0,83	18,76±0,63	15,05±0,78	11,88±0,87	9,14±0,39

4.3. Výsledky měření a porovnání obou lepidel

Při porovnání hodnot, které jsou uvedeny v tab. 4.3, lze konstatovat, že při nejnižší teplotě 20 °C je pevnější lepidlo Betamate 1496F. Výsledek měření u lepidla SikaPower 492G-LVP při teplotě 80 °C, tak odpovídá hodnotě z technického listu. S rostoucí teplotou zkoušek klesají všechny naměřené hodnoty u obou lepidel. Lepidlo SikaPower 492G-LVP vykazuje při zvýšených teplotách (35 °C, 50 °C, 65 °C, 80 °C, 95 °C) vyšší smykovou pevnost než lepidlo Betamate 1496F.

Vliv teploty na pevnost spoje



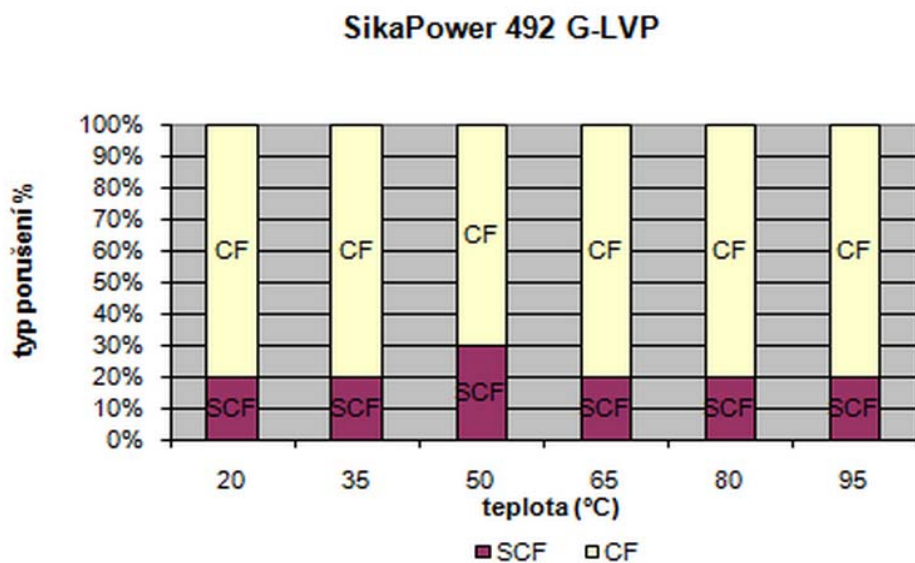
Obr. 4.3: Graf smykové pevnosti, teplota °C

Tabulka 4.3: Výsledky měření, pevnost (MPa), teplota °C

Teplota [°C]	20	35	50	65	80	95
SP 492G-LVP	22,58±0,62	21,85±0,81	20,45±0,86	18,24±0,57	15,24±0,83	11,50±0,57
Betamate 1496F	23,60±0,46	20,71±0,83	18,76±0,63	15,05±0,78	11,88±0,87	9,14±0,39

4.4. Typy porušení - lepidlo SikaPower 492G-LVP

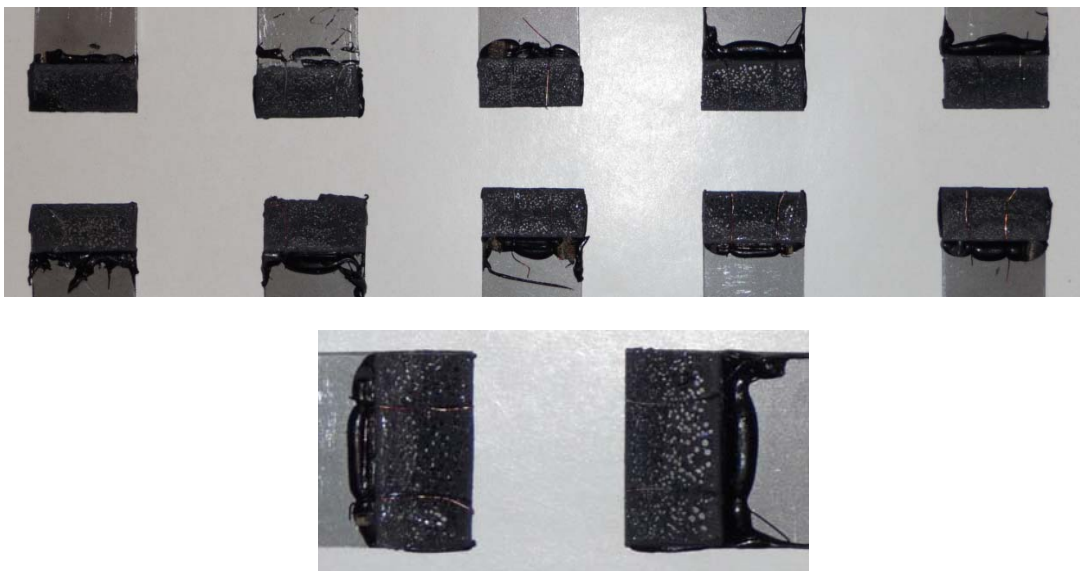
Vyhodnocení typu porušení proběhlo v souladu s normou ISO 10365 viz. kap. 2.4. Lepidlo SikaPower 492G-LVP mělo při nejnižší teplotě 20 °C kohezní porušení (CF) na 80 % plochy a speciální kohezní porušení (SCF) na 20 % plochy. Při zvyšující se teplotě podíl kohezního porušení (CF) oproti porušení speciálně koheznímu zůstává víceméně stejný. Při nejvyšší teplotě je kohezní porušení (CF) opět na 80 % plochy a speciální kohezní porušení (SCF) na 20 % plochy. Adhezní porušení (AF) se nevyskytlo. Pouze při teplotě 50 °C se zvýšil podíl speciálního kohezního porušení na 30 % oproti poklesu kohezního porušení na 70 %. Schematické znázornění typů porušení u jednotlivých teplotních hodnot jsou uvedeny na obr. 4.4. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.4. Ukázka typu porušení při teplotě 20 °C včetně detailu je na obr. 4.5.



Obr. 4.4: Porušení v %, SikaPower 492G-LVP

Tabulka 4.4: Výsledky měření, porušení v % lepeného spoje

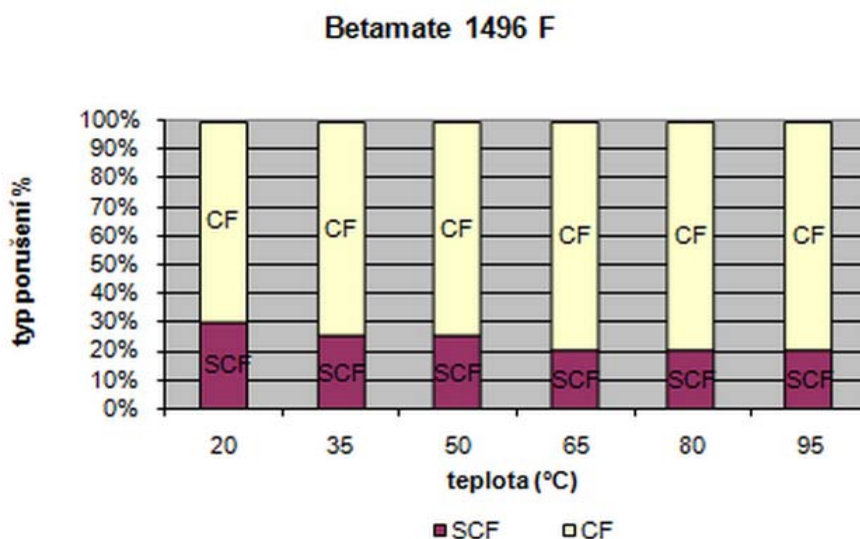
Teplota (°C)	20	35	50	65	80	95
%CF	80	80	70	80	80	80
%SCF	20	20	30	20	20	20
%AF	0	0	0	0	0	0



Obr. 4.5: Ukázka typu porušení lepidla SikaPower 492G- LVP, 20 °C

4.5. Typy porušení - lepidlo Betamate 1496F

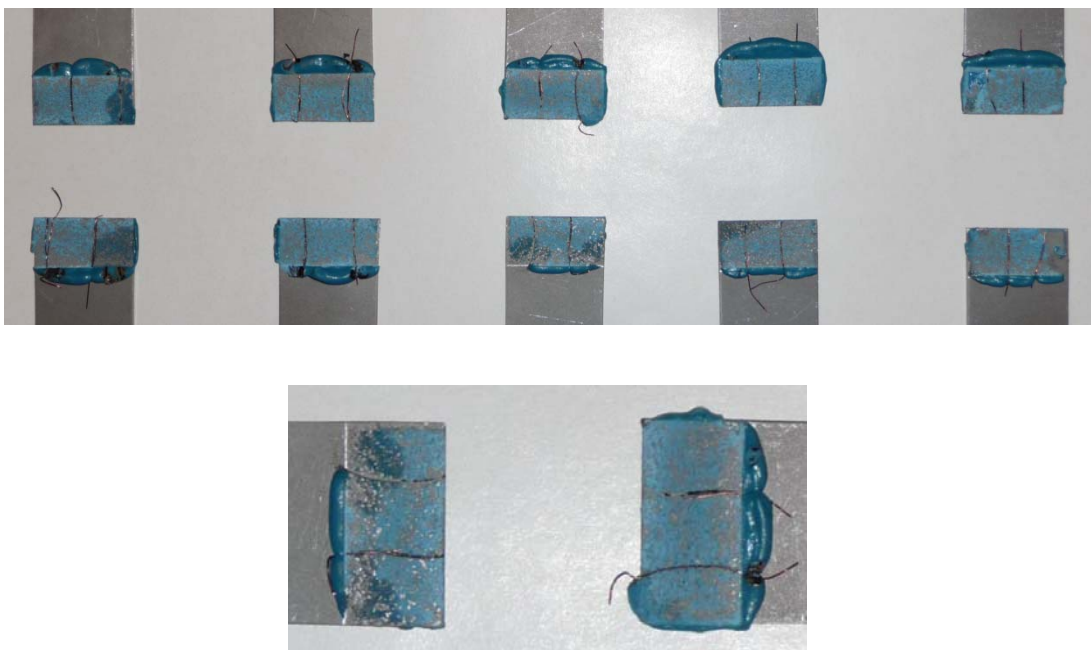
Lepidlo Betamate 1496F mělo při nejnižší teplotě 20 °C kohezní porušení (CF) na 70 % plochy a speciální kohezní porušení (SCF) na 30 % plochy. Při zvyšující se teplotě podíl kohezního porušení (CF) oproti porušení speciálně koheznímu roste. Při nejvyšší teplotě je kohezní porušení (CF) na 80 % plochy a speciální kohezní porušení (SCF) na 20 % plochy. Adhezní porušení (AF) se nevyskytlo. Na obr. 4.6 je graf znázorňující typy porušení. V tabulce 4.5 jsou uvedeny hodnoty, které vyjadřují na jak velké ploše se vyskytovaly jednotlivé typy porušení. Na obr. 4.7 je ukázka typu porušení včetně detailů.



Obr. 4.6: Porušení v %, Betamate 1496F

Tabulka 4.5: Výsledky měření a typy porušení v % lepeného spoje

Teplota (°C)	20	35	50	65	80	95
%CF	70	75	75	80	80	80
%SCF	30	25	25	20	20	20
%AF	0	0	0	0	0	0



Obr. 4.7: Ukázka typu porušení lepidla Betamate 1496F, 20 °C.

Bylo tedy zjištěno, že u obou lepidel při všech měřeních převládá kohezní porušení. Vyskytuje se na 70 až 80 % odtržené plochy. Speciální adhezní porušení se vyskytuje na 20 až 30 % plochy a adhezní porušení se na lepené ploše nevyskytuje vůbec.

5. DISKUZE

Experiment posuzoval vliv teploty v rozmezí 20-95 °C na smykovou pevnost lepeného spoje. Byly použity dvě lepidla s odlišnými mechanickými a chemickými vlastnostmi, které se používají při výrobě automobilů.

Měření u všech vzorků potvrdily, že jejich smyková pevnost klesá se zvyšující se teplotou. Obě lepidla měla nejvyšší smykovou pevnost při teplotě 20°C. Nejnížší hodnoty smykové pevnosti byly naměřeny při teplotě nejvyšší, tj. při 95°C.

Bylo zjištěno, že lepidlo SikaPower 492G-LVP při teplotních podmínkách (35°C, 50°C, 65°C, 80°C, 95°C) vykazuje, vyšší smykovou pevnost než lepidlo Betamate 1496 F. Při nejvyšší teplotě klesá u lepidla Betamate 1496F celkově pevnost ve smyku téměř o 60% oproti prvnímu měření za nejnižší teploty. Důvody, proč byly u obou lepidel naměřeny rozdílné hodnoty, a proč lepidlo Betamate 1496F při teplotních podmínkách (35°C, 50°C, 65°C, 80°C) mělo nižší smykovou pevnost, lze hledat v

chemickém složení. Pravděpodobně dochází k poklesu smykové pevnosti z důvodu uvolňování segmentů řetězců. Lepidla při teplotách (20-95°C) nedegradují, protože jejich hlavní složka epoxid degraduje až při teplotě 176°C [15].

Na všech vzorcích jednoznačně převládá typ kohezního porušení. Při zvyšování teploty se u lepidla Betamate 1496F, zvyšuje jeho podíl na ploše. U lepidla SikaPower 492G-LVP zůstal poměr všech typů porušení přibližně konstantní s výjimkou měření při teplotě 50°C. Protože k tomuto typu porušení dochází výlučně ve vrstvě lepidla, je možné vyloučit, že by na typ porušení měla vliv úprava povrchu nebo volba substrátu. Na zkoumaných vzorcích se tento typ porušení nachází na 70 až 80 % plochy. Naopak speciální kohezní porušení se vyskytuje na 20 až 30 % plochy vzorku. Z výsledku vyplývá, že se tedy podařilo vhodnou volbou lepidla a substrátu zajistit, aby porušení nevzniklo na mezifázovém rozhraní lepidla a substrátu. Protože při zatížení selhala nejprve vnitřní soudržnost (adheze) lepidla, je tedy nutné se při zkoumání vlivu teploty na pevnost lepeného spoje nejdříve zaměřit na samotné lepidlo. A nikoliv na substrát či kontaminaci olejem.

Někteří autoři popisují teplotu jako vnější vliv na vlastnosti lepeného spoje. Jako je například pevnost lepeného spoje pomocí tzv. tepelné odolnosti [4] spoje, která obsahuje tepelnou odolnost lepidla a změny jeho tepelné dilatace i substrátu včetně vlastní tepelné odolnosti substrátu. Do této teploty dochází při jejím zvyšování k mírnému nárůstu pevnosti. Při dalším nárůstu teploty již pevnost lepidla klesá. Průběh této závislosti se bude měnit podle typu lepidla. Zkouškami různých lepidel bylo zjištěno, že tato závislost je nelineární. K znehodnocení lepidla a substrátu přispívají také jejich dilatační rozdíly, ke kterým může docházet nejprve při vytvrzování a následně při samotném zkoušení za zvýšených teplot. Tyto změny jsou podle nich také provázeny smršťováním a přesouváním lepidla od hran ke středu spoje. V mém experimentu jsou oba substráty ze stejného materiálu, a proto je možné uvažovat jen o dilataci lepidla. Ta je ovšem velmi malá, protože modul pružnosti lepidla je také malý.

Z důvodu časové náročnosti se v experimentu nezabývám dlouhodobou tepelnou odolností lepeného spoje. A nelze tedy u lepidel popsat odolnost proti snižování pevnosti při teplotě v delším časovém úseku, která je pro karoserie automobilu taktéž velmi důležitá.

6. ZÁVĚR

Při experimentu měly na pevnost lepeného spoje největší vliv použité lepidlo a teplota. Zkoumala se smyková pevnost u lepidel SikaPower 492G-LVP a Betamate 1496F, které se odlišují svým složením a vlastnostmi.

Obě lepidla měla nejvyšší smykovou pevnost za nejnižší teploty 20^oC. Při tomto prvním měření byla naměřena vyšší pevnost u lepidla Betamate 1496F než SikaPower 492G-LVP. Se zvyšující se teplotou během série definovaných teplot pro každé lepidlo zvlášť, docházelo u obou lepidel k poklesu jejich smykové pevnosti. U lepidla Betamate 1496F je patrný rychlejší pokles smykové pevnosti se zvyšující teplotou než u lepidla SikaPower 492G-LVP. V měřeném rozsahu teplot je tedy možné konstatovat, že lepidlo Betamate 1496F je více teplotně závislé než lepidlo SikaPower 492G-LVP. Z naměřených hodnot v experimentu vyplývá, že lepené spoje se zvyšující se teplotou ztrácejí výrazně svoji smykovou pevnost.

Na lepené ploše vzorků převažuje kohezní porušení oproti speciálnímu koheznímu porušení. Adhezní porušení se nevyskytlo u žádného ze zkoumaných vzorků, proto lze konstatovat, že se podařilo zajistit, aby porušení vznikalo uvnitř v lepidle. Nikoliv na mezifázovém rozhraní lepidlo substrát, které je nebezpečné a poukazuje na špatné spojení lepidla s plochou substrátu, resp. na špatnou, nebo nedostatečnou adhezi lepidla k povrchu substrátu. Závislost typu porušení na teplotě zejména u lepidla SikaPower 492G-LVP, nebyla prokázána.

Teplotní odolnost lepených spojů byla hodnocena pouze v intervalu (20-95 ^oC) při statickém zatížení. Pro širší hodnocení teplotní odolnosti by bylo dobré provést zkoušky za teplot pod bodem mrazu. Experiment by se měl také doplnit o zkoušky při dynamickém zatížení. Podařilo by se tak přesněji přiblížit podmínkám reálného provozu automobilu.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KINLOCH, A. J.: *Durability of structural adhesive*. London: Elsevier Applied Science Publ., 1986. 360 s
- [2] PETERKA, J.: *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980. 788 s
- [3] MELEZÍNEK, O.: *Lepení kovů ve strojírenství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961. 118 s
- [4] KOVAČIC, L.: *Lepenie kovov a plastov*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980. 392 s
- [5] SYMIETZ, D.; LUTZ, A.: *Strukturkleben im Fahrzeugbau*. Munchen: Verlag Moderne, 1983. ISBN -10:3-937889-43-4.
- [6] LANG, B.: *Vliv teploty na pevnost lepeného spoje*. Diplomová práce. TUL 2006.
- [7] KOLNEROVÁ, M.: *Technologie lepení v automobilovém průmyslu*, [online] 2008 [cit. 2008-09-16], dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy>
- [8] VW. PV 12.05. *Bestimmung der für zugscherfestigkeit Bordelnaht und Strukturklebstoffe*, Volkswagen AG, 2003
- [9] ČSN EN 14173. *T- Zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 16 s.
- [10] ČSN ISO 10365. *Lepidla a označení hlavních typů porušení lepeného spoje*. Praha: Český normalizační institut, 1995. 8 s.
- [11] *Viskoelastická látka*: [online]. 2009 [cit. 2009-04-03], dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Tečení>>

- [12] LENFELD, P.: *Technologie II*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, c2005. 110 s
- [13] PTAČEK, L.: *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, s.r.o., 2002. 392 s, ISBN 80-7204-248-3, ISBN 80-7204-130-4
- [14] BROCKMANN, W.; GEISS, P. L.; KLINGEN, J.; SCHODER, B.: *Adhesive bonding*. Weinheim: Wiley-Vch, 2008. 414 s ISBN 978-3-527-31898-4
- [15] *Epoxy*: [online]. 2009 [cit. 2009-04-03], dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy>>
- [16] DUCHÁČEK, V.: *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. 278 s

8. SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha č.1: Technický list Sikapower 492G - LVP

Příloha č.2: Technický list Betamate 1496F

Příloha č.3: Technický list Anticorit PL 3802-39 S

Příloha č.4: Fotografie vzorků po smykové zkoušce

Příloha č.5: Grafické výstupy ze stroje Tira test 2300

Příloha 1: Technický list - lepidlo SikaPower 492G - LVP

Automotive



Product Data Sheet
Version 02 / 2009

SikaPower®-492G

Semi crash resistant hem flange adhesive

Technical Product Data

Chemical base	Epoxy hybrid
Color (CQP ¹ 001)	black
Hazard designation	Xi, N
Non-volatile compounds (CQP 576)	> 99 %
Density before / after curing (CQP 576)	1.30 / 1.35 kg/l approx.
Application temperature	50 - 60°C (nozzle)
Viscosity; 50°C, oscillation 5Hz, P/P 25 mm, 1 mm gap (CQP 584-1)	1000 Pa·s approx.
Curing time / substrate temperature	20 min / 175°C
Lap shear strength ² , at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	20 MPa approx.
Lap shear strength ² , -30°C / +80°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	22 / 15 MPa approx.
Lap shear strength ² , 20' 160°C / 40' 200°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	19 / 18 MPa approx.
Lap shear strength ³ , 1.5 mm metal sheet, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	30 MPa approx.
Dynamic resistance to cleavage ⁴ (CQP 580-3,-6 / ISO 11343)	30 N/mm approx.
T-Peel strength ⁵ (CQP 580-2,-6 / ISO 11339)	9 N/mm approx.
Tensile strength ⁶ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	30 MPa approx.
Elongation at break ⁶ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	8% approx.
Glass transition temperature, DMTA (CQP 509 / DIN EN ISO 6721, EN 61006)	105°C approx.
Shelf life, at 23°C (CQP 584-1)	8 months

¹ CQP = Corporate Quality Procedures

² DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

³ H320 ZE 50/50 1.5 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

⁴ DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 20 x 30 x 0.3 mm; impact speed: 2.0 m/s.

⁵ DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer 25 x 100 x 0.3 mm; rate of extension: 100 mm/min.

⁶ Rate of extension: 2 mm/min.

Description

SikaPower®-492G (LVP) is a one-part, warm-applied, heat-curing high-structural, impact modified adhesive based on epoxy.

SikaPower®-492G (LVP) is designed for sheet metal assembly work in the body shop and is cured with heat, e.g. in the paint oven, to form a high-performance thermoset.

SikaPower®-492G (LVP) is manufactured in accordance with ISO 9001/ 14001 quality assurance system and with the Responsible Care program.

Product Benefits

- One-part
- High strength
- Adheres well to oily substrates
- Very high resistance to washing out
- Suitable for joining different metals
- Contains fine glass beads
- Distortion-free joining
- Provides protection against corrosion
- No damage to substrates
- Contains no solvents, PVC or isocyanates

Areas of Application

SikaPower®-492G (LVP) is suitable for high structural bonding of different types of metal. As an adhesive product it is designed for use as a hem flange bonding adhesive. The glass beads contained in the adhesive provide a uniform layer of adhesive in the gap and help to reduce excessive material squeeze out. The bonding of oily substrates (standard anti-corrosion treatment and deep drawing oils, approx. 2 g/m²) is possible because of the oil uptake during the heat curing that is an essential part of the process.

Method of Application

SikaPower®-492G (LVP) is applied in bead form with a recommended diameter of 1 to 3 mm. SikaPower®-492G (LVP) is filtered with a mesh size of 300 µm before packaging.

Because the viscosity is temperature-dependent (see Fig. 1) all parts of the application system that are in contact with the adhesive must be heated. We recommend phased temperature increase from 40°C at the follower plate to 55°C at the application unit (nozzle). To prolong the life of the packings and facilitate removal of the cut foil disk we strongly recommend a preheating of the new drum for 15 minutes. This will make it easier to remove the foil. During longer breaks (e.g. over night or at the weekend) the equipment must be cooled down to ambient temperature and switched-off and the system (pump and dosage unit) depressurized.

The glass beads contained in the adhesive do not affect the application with standard application systems.

The time between application and curing must be as short as possible, since any uptake of moisture in the interim (climate-dependent) can cause formation of blisters during heat curing. As a guide to process planning, blister formation was not detected after conditioning of uncured parts at 23°C and 80% relative humidity in joined state for two weeks, a drop in dynamic resistance to cleavage was not detected even after four weeks. However, if suitable conditions cannot be guaranteed, pre-curing for 15 minutes at 160°C (substrate temperature) is necessary.

For advice on project-specific application techniques please contact the Corporate System Engineering department (Sika Services AG). For advice on suitable applications (Technical Service) please contact Sika Automotive GmbH.

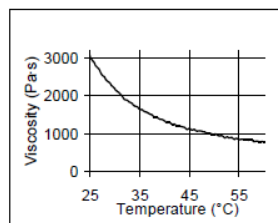


Figure 1: Viscosity as a function of temperature (Equipment: Physica)

Cure Mechanism

SikaPower®-492G (LVP) is cured by heat. The cure-rate depends both on temperature and elapsed time. The most suitable heat sources are convection ovens. The maximum temperature must not exceed 220°C.

Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheet
- Pump specification

Packaging Information

Cartridges	310 ml
Hobbock ¹⁾	23 l
Hobbock	50 l
Drum	195 l

¹⁾ 280 mm diameter

Value Base

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Local Restrictions

Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of the chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its product. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Further information available at:
www.sika.ch
www.sika.com

Sika Automotive GmbH
Reichsbahnstraße 99
D-22525 Hamburg
Germany
Tel.+49405400-0
Fax+494054002-241



Příloha 2: Technický list - lepidlo Betamate 1496F



Dow Automotive

Technisches Datenblatt

BETAMATE 1496F

Crashstabiler Strukturklebstoff

Anwendung / Beschreibung:

BETAMATE 1496F ist ein einkomponentiger Epoxidklebstoff, welcher speziell für den Einsatz im Rohbau entwickelt wurde. Der Klebstoff wird angewendet, um die Betriebsfestigkeit, die Crashstabilität und die Steifigkeit des Fahrzeuges zu erhöhen.

Eigenschaften:

- Ausgezeichnete Haftung auf den im Automobilbau verwendeten Stahlsorten, einschliesslich beschichteten Stählen und vorbehandelten Aluminium. Gute Verträglichkeit von Ölen und Trockenschmierstoffen.
- Hilft die Steifigkeit und Crashstabilität des Fahrzeuges zu erhöhen.
- Hohe Beständigkeit des Klebstoffes und der Verklebung.
- Eignet sich zur Abdichtung und schützt damit sowohl das Metall, als auch Schweisspunkte vor Korrosion.
- Kompatibel mit anderen mechanischen und thermischen Fügeverfahren.
- Kompatibel mit dem KTL - Prozess und auswaschbeständig.
- Vorhärt- und vorgelierbar
- 2 - 4 Wochen Offenzeit im gefügten Zustand.

Applikation:

Das Produkt ist zwischen ca. 40 und 65°C als Raupe applizierbar. Es kann mit folgenden Parametern appliziert werden:

Auftragsgeschwindigkeit	200 - 300 mm/s
Temperaturen:	
Folgeplatte	35 - 40°C
Folgeplatte - Dosierer	Pro Heizzone ca. 5°C Temperaturerhöhung. Im Dosierer maximal 55°C.
Düse	55 - 65°C

Um eine optimale Benetzung des Bauteiles mit dem Klebstoff zu erzielen, sollten die Bauteile bei mindestens 15°C gelagert werden. Bei einer Unterbrechung der Applikation von über 30 Minuten, sollte die Heizung abgestellt werden.

Alle Dow Automotive Produkte werden in erster Linie mit den Automobil-Herstellern für deren Bedürfnisse und gemäss deren Spezifikation entwickelt und von den Kunden für bestimmte Anwendungen freigegeben.

Der Einsatz für andere als die freigegebenen Anwendungen bedarf der vorherigen, schriftlichen Gutheissung durch den technischen Dienst der Dow Automotive.

Technische Daten:

Basis	Epoxidharz
Farbe	blau
Dichte (DIN 52451) (23°C)	1.19 g/ml
Anteil nichtflüchtiger Bestandteile	> 99 %
Viskosität / Fließgrenze (DIN 53019) (45°C, Bohlin, Modell Casson)	160 Pa.s / 130 Pa
Flammpunkt (DIN 51758)	nicht anwendbar
Aushärtebedingung	> 140 °C / 30 Minuten
Standardaushärtung	180 °C / 30 Minuten
Zugfestigkeit (DIN EN ISO 527-1)	31 MPa
Bruchdehnung (DIN EN ISO 527-1)	ca. 12 %
E-Modul (DIN EN ISO 527-1)	1300 MPa
Zugscherfestigkeit (DIN EN 1465) (CRS 14O3, 1.5 mm; 0.2 mm Klebschichtdicke)	31 MPa
Winkelschälfestigkeit (DIN 53282) (CRS 14O3, 0.5 mm; DX56 D Z100 MB, 0.78 mm; 0.2 mm Klebschichtdicke)	3.5 N/mm 12 N/mm
Schlagschälfestigkeit (ISO 11343) (CRS 14O3, 1 mm, 23°C, 2 m/s; 0.2 mm Klebschichtdicke)	41 N/mm
Vorbehandlung der Klebflächen	Das Material wurde für die Haftung auf öligem Blech mit bis zu 5 g/m ² Ölaufage entwickelt.
Verarbeitung	aus Kartuschen: Druckluftpistolen mit mechanischem Stempel, oder Handdruckpistolen. aus Hobbock und Fässern: Mit beheizbaren, handelsüblichen Hobbock- und Fasspumpen.
Reinigung	Vor dem Aushärten kann der unausgehärtete Klebstoff mit BETACLEAN 3510 entfernt werden. Achtung: Haftflächen dürfen <u>nicht</u> mit BETACLEAN 3510 gereinigt werden!
Gebinde	Hobbock und Fass: 20, 45, 100 und 200 kg (Mehrweggebinde mit PE-Sack) Kartuschen: 0.36 kg
Lagerstabilität	Das Material ist bei Temperaturen unter 30°C drei Monate verarbeitbar.

Die angegebenen Daten sind Standardwerte.

Sicherheitshinweise

Exotherme Reaktion

Das Material reagiert bei Aushärtung exotherm und es entsteht Reaktionswärme, die vor allem bei grösseren Gebinden nur sehr schlecht abgeführt wird. Um dies zu vermeiden, ist das Gebinde von Wärmequellen fernzuhalten.

Schutzmassnahmen

Die Handhabung von Epoxidharzklebstoffen ist ungefährlich, wenn die Vorschriften für den Umgang mit Chemikalien befolgt werden. Jedoch muss der Kontakt von unausgehärtetem Klebstoff mit Lebensmitteln und Lebensmittelbehältern unbedingt vermieden werden. Ebenso müssen Schutzmassnahmen getroffen werden, um den Hautkontakt zu verhindern. Undurchlässige Plastik- oder Gummihandschuhe und Augenschutz sind unerlässlich. Nach der Handhabung von Klebstoffen muss die Haut mit warmem Wasser und Seife gründlich gereinigt werden. Lösungsmittel sind zu vermeiden. Zur Trocknung der Haut sind Einwegpapiertücher empfehlenswert. Es ist für gute Belüftung zu sorgen. Weitere detaillierte Schutzmassnahmen entnehmen Sie den Sicherheitsdatenblättern.

Hinweis:

Qualität ist unser oberstes Gebot. Dow Automotive arbeitet mit einem modernen Qualitätsmanagement-System, das die internationalen Anforderungen nach ISO/TS 16949: 2002 erfüllt. Alle Standorte von Dow Automotive sind nach ISO 14001: 2004 zertifiziert.

Alle vorstehenden Angaben, technischen Daten und Empfehlungen beruhen auf Prüfungen, die unseres Erachtens zuverlässig sind. Die Entscheidung, ob Produkte von Dow Automotive für die jeweilige Anwendung geeignet sind, liegt in der alleinigen Verantwortung des Kunden. Eine Freistellung von Patenten von Dow oder Dritten wird weder direkt noch indirekt gewährt.

ES WERDEN HIERMIT KEINERLEI GARANTIE ABGEGEBEN. STILLSCHWEIGENDE GARANTIE ODER GEWÄHRLEISTUNGEN FÜR VERKAUFSFÄHIGKEIT ODER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK SIND AUSDRÜCKLICH AUSGESCHLOSSEN.

Dow Automotive

Dow Europe GmbH
Wolleraustrasse 15-17
CH-8807 Freienbach
Tel. +41 (0)55 416 81 11
Fax +41 (0)55 416 82 20

Dow Automotive (Deutschland) GmbH

Am Kronberger Hang 4
D-65824 Schwalbach
Tel. +49 (0)619 65 66 0
Fax +49 (0)6196 566 444

Dow Automotive (France)

Dow France S.A.S.
Z.I. Nord, route d'Amiens
F-60130 Saint-Just en Chaussée
Tel. +33 (0)3 44 77 61 00
Fax +33 (0)3 44 77 61 61

Dow Automotive (España)

Dow Chemical Iberica S.L.
Calle Camino del Corral, 7 (Pol. Ind. Alcamar)
E-28816 Camarma de Esteruelas
Tel. +34 (9)1 886 61 43
Fax +34 (9)1 885 75 60

Dow Automotive (UK)

Dow Chemical Company Limited
2 Heathrow Boulevard
284 Bath Road
West Drayton
Middlesex, UB7 0DQ
Tel. +44 (0)208 917 500
Fax +44 (0)208 917 5400

Dow Automotive (Italy)

Dow Italia s.r.l.
Via Patroclo 21
I-20151 Milan
Tel. +39 (0)2 48 221
Fax +39 (0)2 48 22 40 66

Dow Automotive (USA)

The Dow Chemical Company
250 Harmon Road
Auburn Hills USA
MI – 48326
Tel. +001 248 391 63 00
Fax +001 248 391 64 17

Produkt- I N F O R M A C E



ANTICORIT PL 3802-39 S

PI 3-4211

Popis

ANTICORIT PL 3802-39 S je olej typu Prelube, to znamená ochranný antikorozi olej i tvářející mazivo pro použití v ocelárnách.

ANTICORIT PL 3802-39 S se vyznačuje následujícími speciálními vlastnostmi:

- bezpečná antikorozi ochrana i za extrémních klimatických podmínek
- optimální tvářející výkon i pro obtížné tahy
- vhodnost pro zušlechťené plechy (Z, ZE, ZNE, ZF, fosfátované i nefosfátované), jakož i pro normální ocelové plechy
- snadná odstranitelnost i po stárnutí a tepelném zatížení
- kompatibilita se všemi běžnými lepicími systémy při výrobě automobilů
- vysoká snášenlivost s katalytickými laky a laky s nízkým obsahem rozpouštědel a pigmentů
- nezatěžuje pracovní prostředí díky základovému oleji bez obsahu těžkých kovů a halogenů a s nízkým obsahem aromátů.

ANTICORIT PL 3802-39 S se používá převážně jako konzervační olej v ocelárnách, může však být nanesen i jako tvářející látka bezprostředně před tvářením.

Použití

Nanášení lze provádět všemi způsoby nástřiku (přednostně elektrostaticky) ale také naválčováním.

Doporučená pracovní teplota pro nástřik a filtraci je 40 - 65 °C.

Jako u všech tixotropních látek může dojít po delší době skladování k lehkému usazování látek, zajišťujících tixotropní účinky.

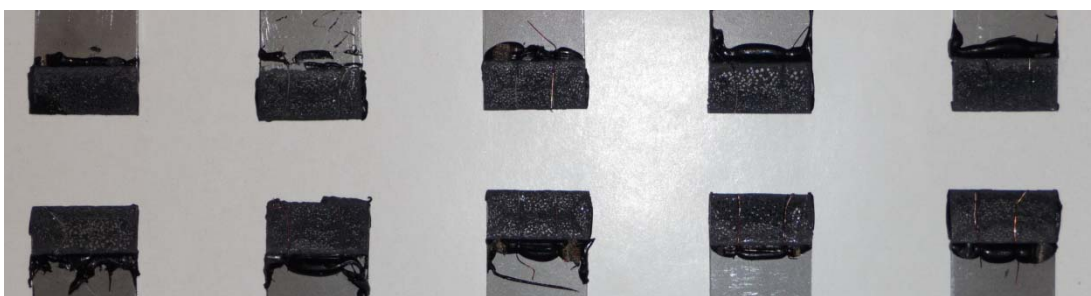
ANTICORIT PL 3802-39 S je skladovatelný v uzavřeném originálním balení při teplotě 5 - 40 °C minimálně 5 let.

Charakteristika

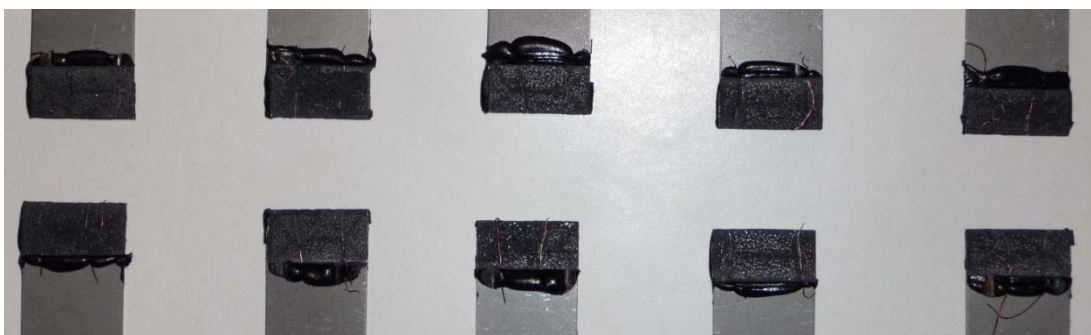
Vlastnosti	Jednotka	Údaje	Zkouška dle
Číslo barvy	-	3,5	DIN ISO 2049
Hustota při 15 °C	kg/m ³	915	DIN 51 757
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	60	DIN 51 562
Bod vzplanutí	°C	196	DIN ISO 2592
Obsah vody	% hmotnosti	< 0,2	DIN 51 777-2
Odstranitelnost	-	vyhovuje	VW 52.02
Obsah aromátů v základovém oleji	% hmotnosti	< 7	Zkušební metoda VN čis. TML 1 *)
Antikorozi vlastnosti (St 1405)			
Kondenzační komora	h	200	ASTM D 1748
Klimatická komora	cykly	> 20	DIN 51 386-1
Solná komora	h	24	DIN 50 021 SS

*) VM = zkušební metoda Vauxhall Motors Limited

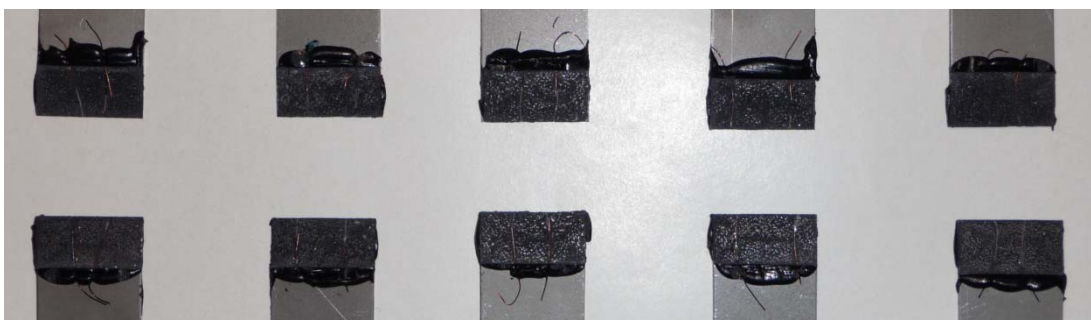
Příloha 4: Fotografie vzorků po smykové zkoušce



P. 4.1: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem SikaPower 492G, při teplotě 20 °C



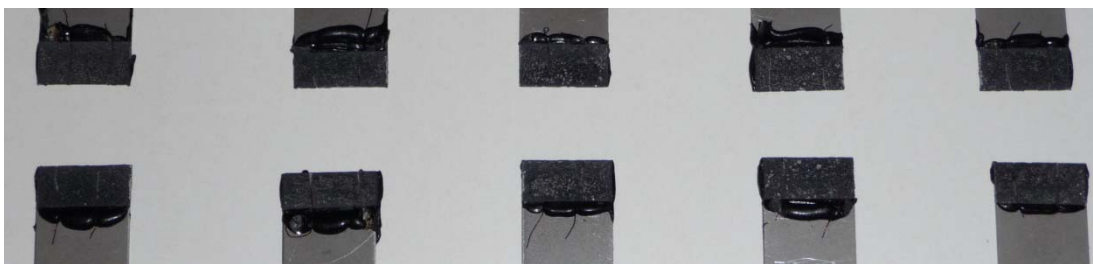
P. 4.2: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem SikaPower 492G, při teplotě 35 °C



P. 4.3: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem SikaPower 492G, při teplotě 50 °C



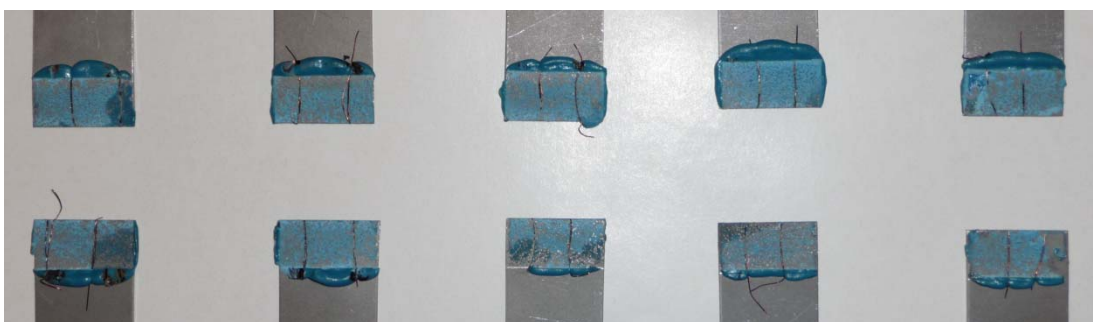
P. 4.4: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem SikaPower 492G, při teplotě 65 °C



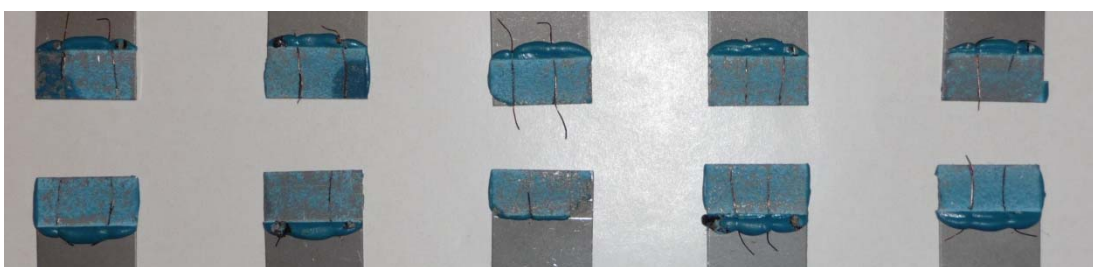
P. 4.5: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem SikaPower 492G, při teplotě 80 °C



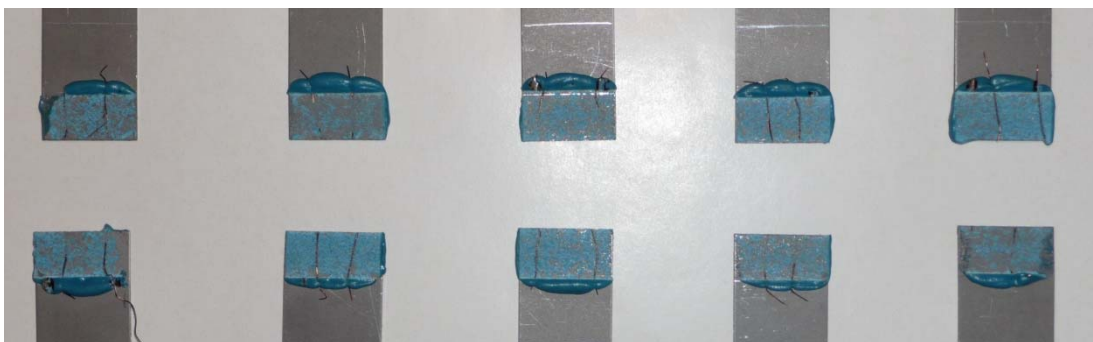
P. 4.6: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem SikaPower 492G, při teplotě 95 °C



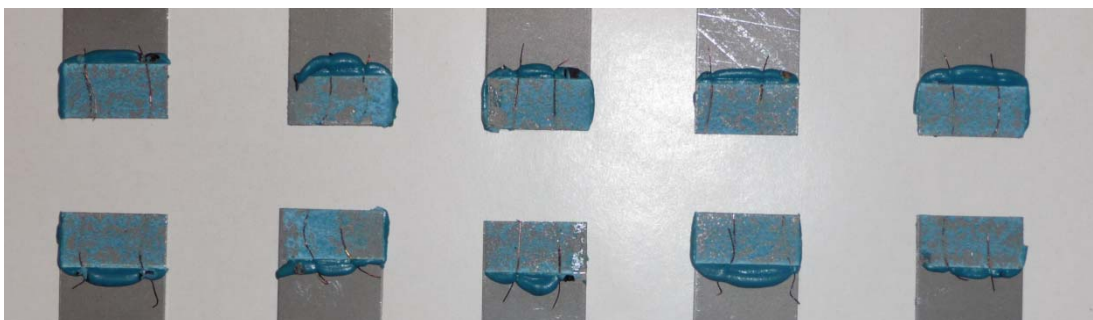
P. 4.7: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem Betamate 1496F, při teplotě 20°C



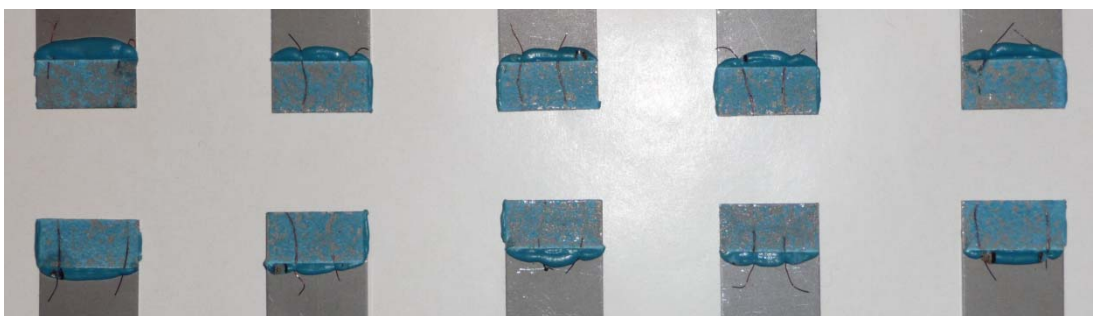
P. 4.8: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem Betamate 1496F, při teplotě 35°C



P. 4.9: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem Betamate 1496F, při teplotě 50°C



P. 4.10: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem Betamate 1496F, při teplotě 65°C



P. 4.11: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem Betamate 1496F, při teplotě 80°C



P. 4.12: Série 5 ks zkušebních vzorků s lepidlem Betamate 1496F, při teplotě 95°C

Příloha 5: Grafické výstupy ze stroje TIRA TEST 2300

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G
Getester Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření: : 20 °C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

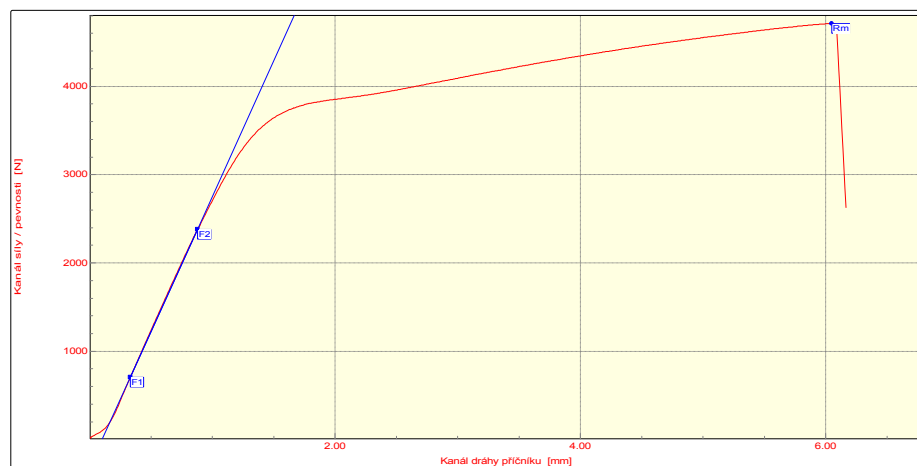
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 80
SCF: : 20
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	23.56
2	22.12
3	22.03
4	22.73
5	22.46

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	22.58
Směrodatná odchylka	0.62



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.1: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Sikapower 492G,
při teplotě 20 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G
Getester Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 35°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

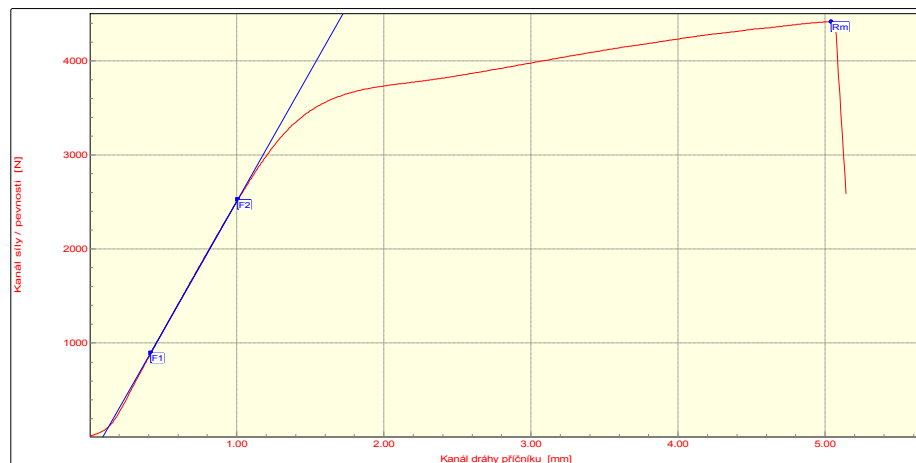
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 80
SCF: : 20
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	22.07
2	22.39
3	20.92
4	22.78
5	21.10

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	21.85
Směrodatná odchylka	0.81



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.2: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Sikapower 492G,
při teplotě 35 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G
Gesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 50°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

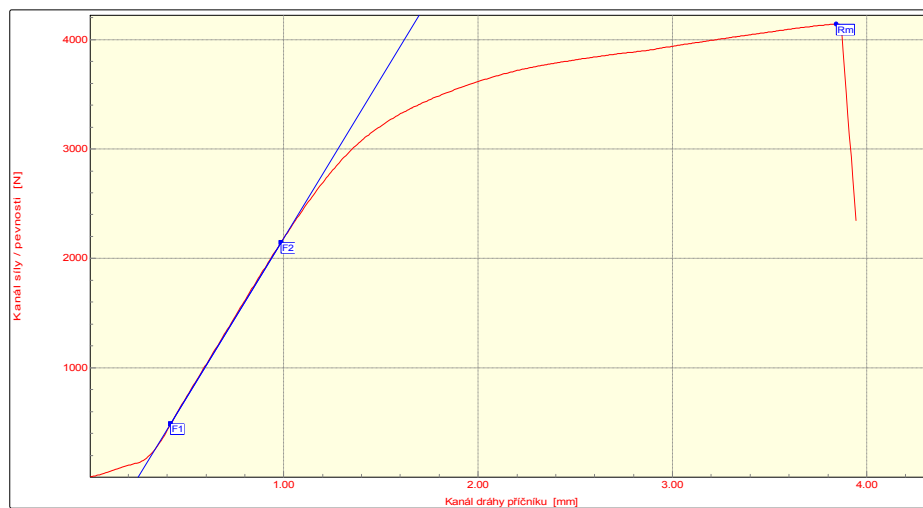
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 70
SCF: : 30
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	20.71
2	21.03
3	21.40
4	19.51
5	19.58

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	20.45
Směrodatná odchylka	0.86



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.3: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Sikapower 492G,
při teplotě 50 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G
Getesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 65°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

Schlusswerte

Bruchbild [%]:

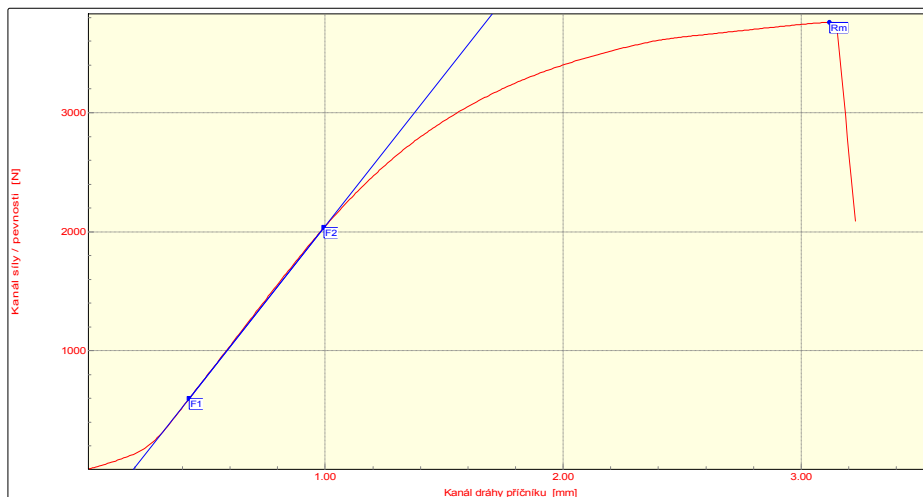
CF: : 80

SCF: : 20

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	18.79
2	17.29
3	18.52
4	18.37
5	18.23

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	18.24
Směrodatná odchylka	0.57



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffen
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.4: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Sikapower 492G,
při teplotě 65 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G
Getesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 80°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

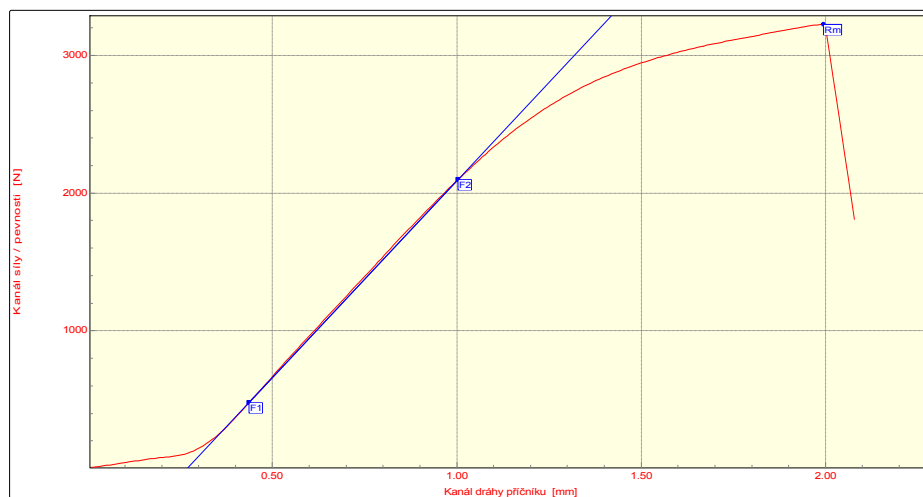
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 80
SCF: : 20
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	16.13
2	13.91
3	15.62
4	15.09
5	15.43

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	15.24
Směrodatná odchylka	0.83



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.5: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Sikapower 492G,
při teplotě 80 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : Sika Power 492G
Getesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 95°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

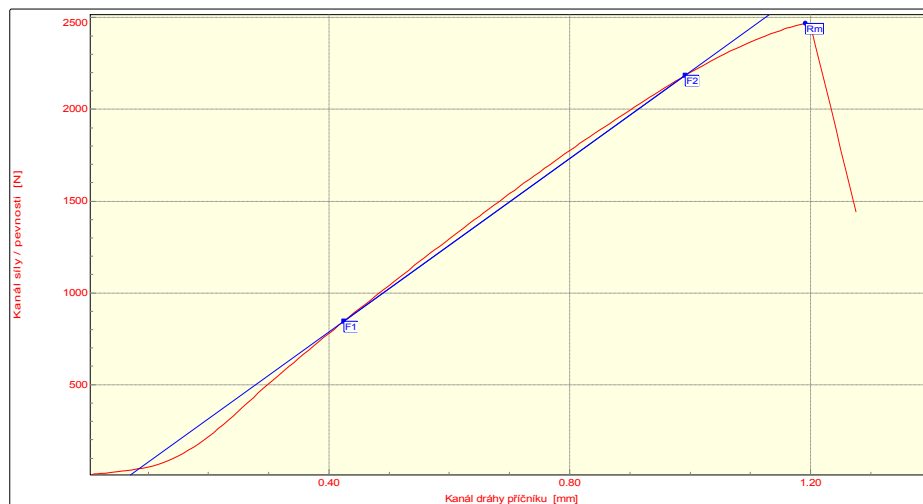
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 80
SCF: : 20
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	12.34
2	11.44
3	10.77
4	11.68
5	11.29

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	11.50
Směrodatná odchylka	0.57



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.6: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Sikapower 492G,
při teplotě 95 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.35

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : BEtamate 1496F
Gesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 20°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

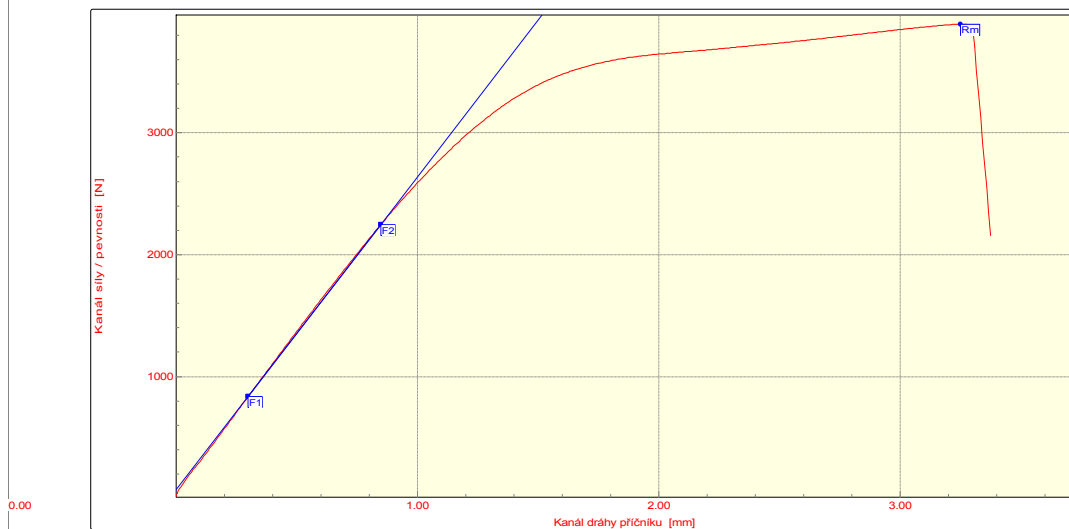
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 70
SCF: : 30
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	22.88
2	23.40
3	23.89
4	23.93
5	23.90

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	23.60
Směrodatná odchylka	0.46



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.7: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Betamate 1496F,
při teplotě 20 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : BETamate 1496F
Gesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 35°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

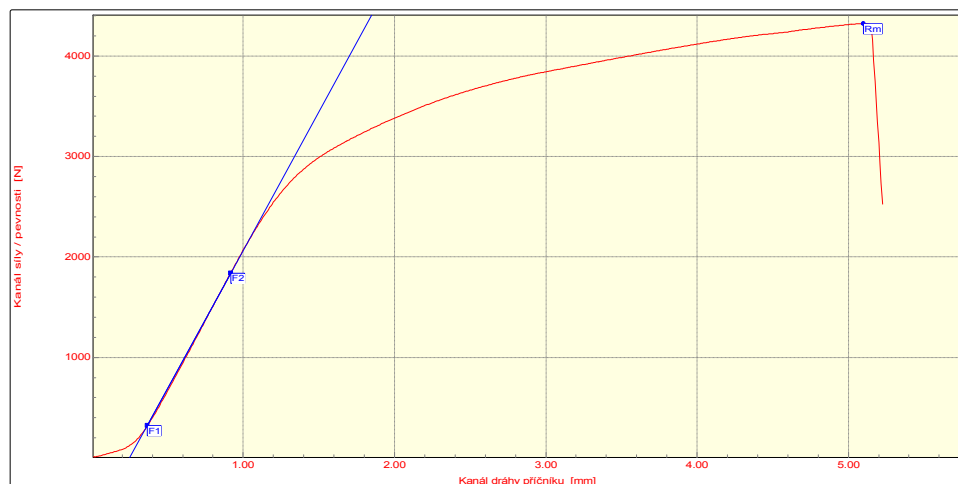
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 75
SCF: : 25
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	21.61
2	21.44
3	19.60
4	20.34
5	20.55

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	20.71
Směrodatná odchylka	0.83



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.8: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Betamate 1496F,
při teplotě 35 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : BEtamate 1496F
Getester Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 50°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

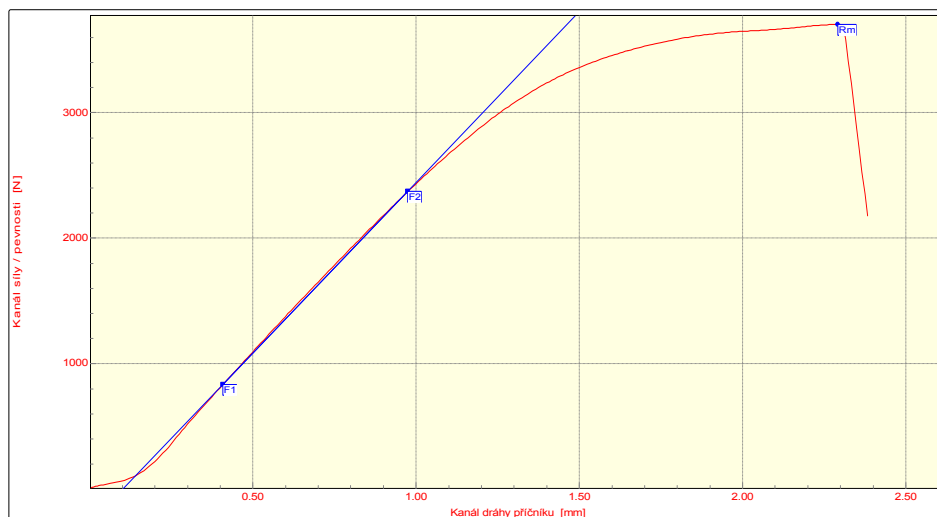
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 75
SCF: : 25
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	18.52
2	18.21
3	19.29
4	19.57
5	18.24

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	18.76
Směrodatná odchylka	0.63



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.9: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Betamate 1496F,
při teplotě 50 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : BEtamate 1496F
Gesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 65°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

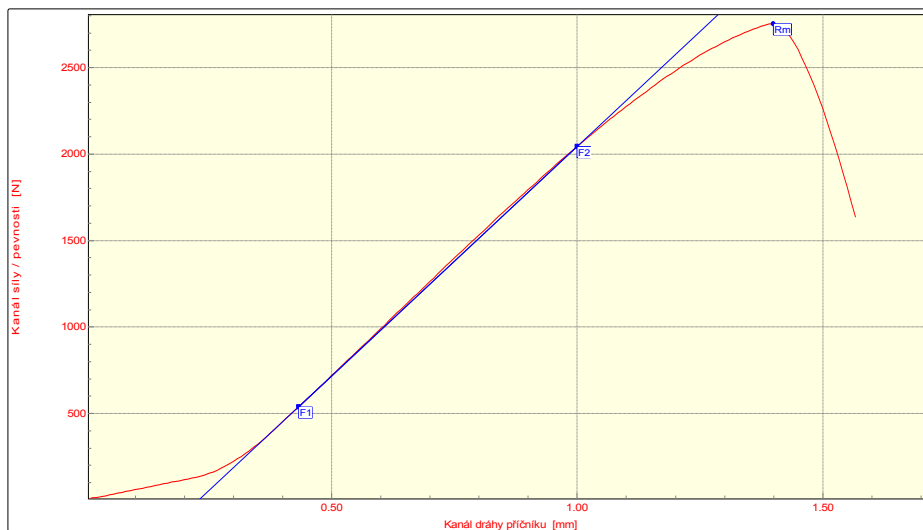
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 80
SCF: : 20
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	14.34
2	15.90
3	14.15
4	15.68
5	15.19

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	15.05
Směrodatná odchylka	0.78



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffen
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.10: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Betamate 1496F,
při teplotě 65 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : BEtamate 1496F
Gesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 80°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

Schlusswerte

Bruchbild [%]:

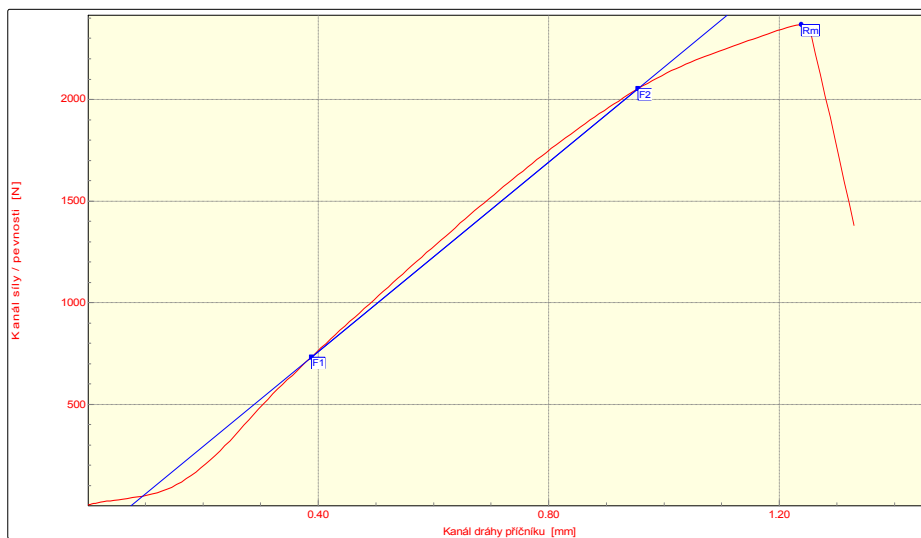
CF: : 80

SCF: : 20

AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	11.84
2	12.65
3	12.01
4	10.43
5	12.45

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	11.88
Směrodatná odchylka	0.87



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe

Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.11: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Betamate 1496F,
při teplotě 80 °C

ZUGSCHERFERSTIGKEIT NACH PV 12.05

Eintrittswerte

Getesteter Klebstoff: : BEtamate 1496F
Gesteter Schmierstoff: : Anticorit PL 3802-39s
Getestetes Substrat: : EG+PH
Schmierstoffmenge: : 3 g/m²
Schubgeschwindigkeit: : 50 mm/min
Verklebende Fläche: : (20x10) mm
Podmínky měření : 95°C

Vorbereitung der Prüflinge: Schmierstoff-Auftragen, 1 Stunde abwarten, Klebender Prüflinge
Aushärtung 180°C, 20 min.
Test bei RT

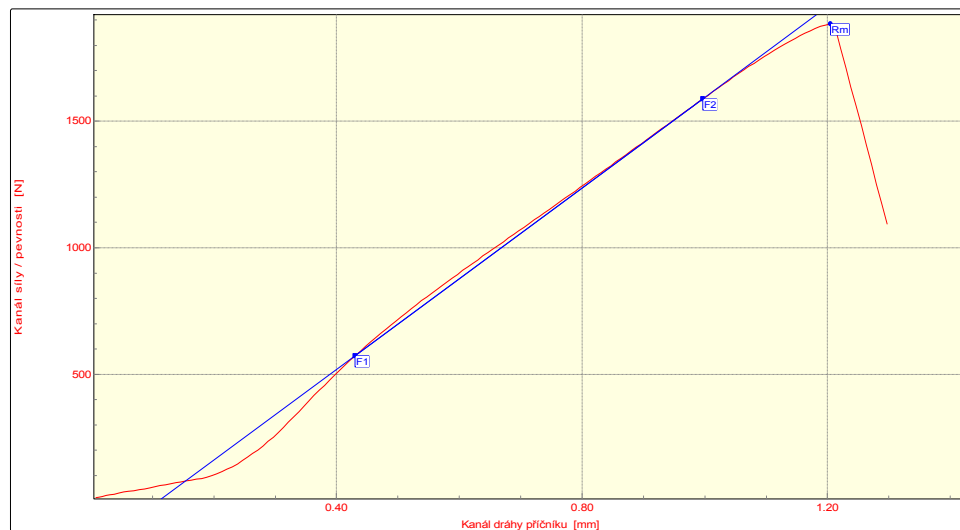
Schlusswerte

Bruchbild [%]:

CF: : 80
SCF: : 20
AF: :

Číslo zkoušky	Rm MPa
1	9.42
2	8.90
3	9.58
4	8.61
5	9.18

Statistická hodnota	Rm MPa
Počet zkoušek	5
Průměrná hodnota	9.14
Směrodatná odchylka	0.39



TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN LIBEREC

Abteilung für Umformen von Metallen und Kunststoffe
Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

P. 5.12: Série měření pro 5 ks lepených spojů s lepidlem Betamate 1496F,
při teplotě 95 °C

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 5.6.2009

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date 5.6.2009

Signature